

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладобудування

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(підпис)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності

152 Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

на тему: Анемометер з покращеним захистом _____

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ПІ-81мп
(шифр групи)

Гусак Ростислав Вікторович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Литвененко Павло Леонідович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант Розробка стартап-проекту доцент, д. е. н. Бояринова К.О _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України

**«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Гусаку Ростиславу Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Анемометр з покращеним захистом

науковий керівник магістерської дисертації Литвененко Павло Леонідович
К.Т.Н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 2019 р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації 17 грудня 2019

3. Перелік завдань, які потрібно розробити Проведення огляду аналогів. Провести розрахунок основних характеристик анемометру. Написати програмне забезпечення. Розробити стартап-проект. Зробити аналіз та узагальнення отриманої інформації.

4. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Складальне креслення анемометру з покращеним захистом – 1 арк. ф. А1. Робочі кресленики деталей – 1.5 арк. ф. А1. Презентаційний аркуш – 1 арк.ф.А1. Матеріали аналітичного огляду – 1 арк.ф.А1. 3D модель анемометру з покращеним захистом 1 арк.ф.А1. Блок схема програмного забезпечення 1арк.ф.Ф1

5. Орієнтовний перелік публікацій _____

6. Консультант розділу дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розробка стартап-проекту</i>	<i>Бояринова К. О. д. е. н., доцент</i>		

7. Дата видачі завдання 2 листопада 2019.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів дисертації	Примітка
1	Ознайомлення з завданням	17.10.2019	
2	Проведення аналітичного огляду аналогів	24.10.2019 – 28.10.2019	
3	Розрахунок основних характеристик анемометру	28.10.2019 – 5.11. 2019	
4	Розробка стартап-проекту	5.11.2019 – 19.11.2019	
5	Оформлення текстової та графічної частини	19.11.2019 - 21.11.2019	
6	Представлення МД на перевірку науковому керівнику	3.12.2019 – 14.12.2019	
7	Передача матеріалів МД на перевірку виявлення збігів/схожості текстів сервісом Unichек	14.12.2019 - 14.12.2019	
8	Представити МД до екзаменаційної комісії НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»	17.12.2019	

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____

(підпис) (ініціали, прізвище)

Реферат

Магістерська дисертація складається з вступу, двох розділів, висновків, списку літератури. Дисертація містить 81 сторінку, 14 рисунків, 23 таблиці, список використаних джерел з 19 найменувань.

Метою магістерської дисертації є розробка та дослідження анемометра з покращеним захистом. Було проведено розрахунок статичних характеристик анемометра, розробка програмного забезпечення, аналіз точності.

В розділі стартап-проекту було розроблено план розвитку проекту та схеми масштабування.

Essay

Master dithering is stored from a record, two books, a book, a bibliography. The dithering has 81 sites, 14 drawings, 23 table, 19 reference.

Rob development and acquisition of a shortened scan anemometer. The start-up project was minimized, the static characteristics of the anemometer were checked, accuracy analysis, the safety program was revised.

In the starter project, the project development plan and scaling scheme were scattered.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						1
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ	4
1. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	5
1.1 Огляд аналогів.....	5
1.1.1 Трубочастий анемометр	5
1.1.2 Тепловий анемометр	8
1.1.3 Ультразвуковий анемометр	10
1.1.4 Лазерний доплерівський анемометр	14
1.1.5 Анемометр нажимної пластини	17
1.1.6 Звуковий анемометр - термометр.....	18
1.1.7 Акустичний резонансний анемометр	21
1.2 Опис принципової схеми анемометра	27
1.3 Основні статичні характеристики анемометра.....	29
1.3.1 Аналітична модель	29
1.4 Проведення аналізу точності анемометра	38
1.4.1 Проведення калібрування анемометра.....	38
1.4.2 Вплив щільності вітру на результати калібрування.....	40
1.4.3 Вплив старіння на чашковий анемометр	41
1.4.4 Поведінка та моделювання чашкового анемометра в умовах обмерзання.....	42
1.5 Система обігріву анемометра	46
1.6 Програмне забезпечення.....	52
1.6.1 Вибір мови програмування	52
1.6.2 Основний функціонал програми	52
Висновок до першого розділу	55
2. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ “АНЕМОМЕТР З ПОКРАЩЕНИМ ЗАХИСТОМ ”	57
2.1. Опис ідеї проекту	57
2.2. Технологічний аудит ідеї проекту	61

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		2

2.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	62
2.4. Ринкова стратегія проекту.....	72
2.5 Маркетингова програма стартап-проекту	75
Висновок до другого розділу	78
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК.....	79
Перелік посилань	81

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						3
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Вступ

Наразі використання анеометрів, різних типів, дуже поширене, їх застосування переходить з таких секторів розвитку, як метеорологія або енергія вітру, в інші сектори, де також слід визначати вплив вітру. Проте, галузь вітроенергетики все одно може вважатися головним споживачем анеометрів у всьому світі.

Якщо залишити осторонь важливість найточніших інструментів (так як потужність вітру пропорційна $1/3$ від потужності швидкості вітру), то можна помітити, що сектор вітроенергетики надзвичайно перемагається двома аспектами, які потребують використання анеометрів: прогноз виробництва вітрової енергії в польових умовах та спостереження за продуктивністю вітряних турбін. Останніми роками сектор вітроенергетики був відкрито підтриманий урядами багатьох країн (Німеччина, Данія, Іспанія ...), стурбованими чистою енергією та зниженням їх залежності від викопного палива. Крім того, наразі дуже активні країни-новачки в цій галузі, такі як Китай, США, Індія чи Бразилія, їх показники, встановленої потужності вітру, доволі значні. А отже можна допустити, що згаданий масовий попит на анеометри з цього сектору буде тільки збільшуватись.

Серед безлічі різних приладів, які вимірюють швидкість вітру, найбільш використовуваним пристроєм в вітроенергетиці залишається чашковий анеометр, оскільки він недорогий, якщо зрівнювати з альтернативними пристроями (наприклад, лазерний анеометр), у нормальному діапазоні швидкості вітру, показує лінійний відгук і не втрачає своїх точнісних характеристик навіть у досить екстремальних погодних умовах. А отже розробка та покращення анеометрів які здатні, з високою точністю, визначити швидкість вітру в більшості кліматичних зон, буде і надалі актуальним.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

1. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

1.1 Огляд аналогів

Існує велика кількість різних за типом анемометрів. За принципом дії відрізняють ультразвукові анемометри, які визначають швидкість звуку в газі, в залежності від напрямку його руху, так наприклад назустріч вітру швидкість нижче, ніж в стані спокою, за вітром - навпаки, вище. Механічні анемометри, де рух газу призводить до обертання чашки або крильчатки. Теплові анемометри, основний принцип дії яких полягає в вимірюванні зниження температури тіла яке нагрілось, в більшості випадків розжарюваного дроту, від руху газу.

1.1.1 Трубчастий анемометр

Трубчастий анемометр складається зі скляної трубки U, в якій розміщений рідинний манометр, одна частина якого зігнута в горизонтальному напрямку, для того щоб протистояти вітру, а інша частина залишається паралельна вітровому потоку.

Коли вітер дме в рот трубки, то він призводить до підвищення тиску на одній стороні манометра. На іншій стороні манометра, над відкритим кінцем вертикальної трубки, призводить до невеликої зміни тиску. Остаточна різниця в висоті обох лап U-трубки являється показником швидкості вітру. Та для більш точного вимірювання потрібно, щоб швидкість вітру була у трубці з відкритим кінцем, крихітні відхилення від коректного напрямку вітру призводять до значних змін в зчитуванні.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

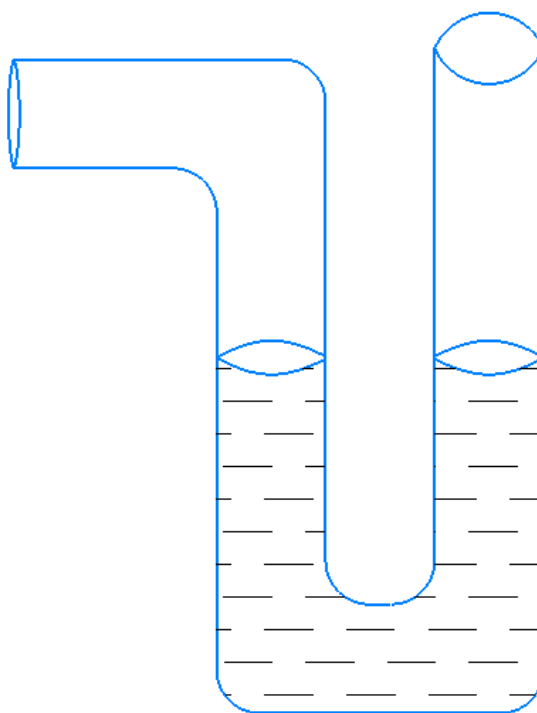


Рисунок 1.1 – Трубчастий анемометр

Тиск в трубці яка паралельна вітру є сума тиску вітру та атмосферного тиску. Таким чином

$$P_1 = P_A + C_1 \frac{1}{2} \rho_a V^2.$$

Отже в трубці, перпендикулярній вітру, тиск

$$P_2 = P_A - C_2 \frac{1}{2} \rho_a V^2,$$

де P_A – атмосферний тиск ,

а C_1 і C_2 – коефіцієнти.

Віднімаємо P_2 від P_1 і отримуємо рішення для V

$$V = \left[\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho_a(C_1 + C_2)} \right]^{0.5},$$

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Тоді, вимірюючи різницю тисків всередині двох цих трубок, швидкість вітру може бути визначена. Оскільки тиск вимірюється за допомогою датчиків тиску або звичайних манометрів, з інструментом виміру нам стають доступні такі значення C1 і C2.

Основна перевага – це відсутність будь-яких рухомих частин. Але на відкритій місцевості має обмежене застосування в вимірах, через присутність вологи, пилу, комах, що може сильно вплинути на його точність.

Ще один прототип трубчатого анемометра мав ту ж різницю тисків між гирлом прямої труби(відкритим), напрямленої до вітру, та має у вертикальній трубці кільце незначних отворів. Труба закрита на верхньому кінці. Обидва встановлені на однаковій висоті. Щоб зняти відмінності тиску потрібні особливі пристрої. Рекордер містить в собі поплавець який знаходиться в герметичній камері, частково заповненій водою. Тоді як з верхньою частиною герметичної камери з'єднана труба. Труба з менших трубок направляється в нижню частину всередині поплавця. Так як різниця тисків визначає положення поплавця по вертикалі, це показник швидкості вітру [5].

Основна перевага трубчастого анемометра це те, що відкрита деталь навіть при встановленні на високому полюсі не потребує мастила або обслуговування протягом багатьох років роботи, а також можна розмістити реєструючу частину в будь-якому положенні. Здається, що тільки єдине з'єднання буде служити, але різниця в тиску настільки мала, що потрібно корегувати тиск повітря в приміщенні, де і знаходиться частина для запису. Отже, якщо інструмент залежить тільки від тиску або всмоктувального ефекту і якщо, всмоктування або тиск, вимірюється проти тиску повітря в простій кімнаті, де двері і вікна закриті дуже щільно, ефект може бути рівним вітрові 16 км / год, і навіть відкриття дверей або вікна може повністю змінити результат.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Хоч і трубчастий анемометр і має помилку близько 1% при швидкості 10 км / год, він не коректно реагував на низьку швидкість вітру через незначну реакцію саме плоскої пластини, яка необхідна для повороту голови в вітрі.

1.1.2 Тепловий анемометр

Основний принцип роботи залежить від швидкості вітру, а також від супротиву металів.

Головний елемент – дуже тонка проволока з вольфраму, близько декількох мікрометрів, електрично нагріта до встановленої температури яка повинна бути вище навколишньої. Через те, що електричний опір в більшості металів напряму залежить від його температури, то можна отримати співвідношення швидкості потоку та опором проводу[1]. При протіканні повітря повз дріт, він охолоджується.

Головним датчиком виступає тонкий металевий дріт або плівка, виготовлена з матеріалу який має високий температурний коефіцієнт опору, наприклад платина, вольфрам, платина-іридій і платина-родій.

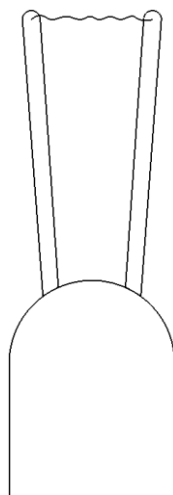


Рисунок 1.2 – Тепловий анемометр

Для теплового анемометра таке основне рівняння

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		8

$$\frac{dE}{dt} = W - H.$$

В цьому рівнянні E – це збережена в проводі теплова енергія

$$E = C_w T,$$

В цьому рівня C_w - це теплоємність дроту,

а W - потужність, яка генерується Джоулем обігріву

$$W = I^2 R_w,$$

H – величина тепла, що передається оточенню.

Здебільшого дріт датчика варіюється від 1 до 10 мкм при діаметрі D і приблизно від 0,5 до 2 мм в довжину l . Штирів з нержавіючої сталі з діаметром від 0,1 до 0,2 мм припаюються до дроту, або дріт просто зварюється. Плівка з товщиною близько 1-5 мкм у наноситься на плоску підкладку для того щоб вимірювати зсув напружень на стінці, або на клиноподібну, конусоподібну чи циліндричну підкладку для вимірювання швидкості.

Основний аспект чутливості датчика до швидкості потоку влаштовується за рахунок того, що температура плівки або дроту набагато вище, ніж температура потоку, через те, що він нагрівається струмом. Вимір швидкості в газах проводиться в діапазоні від 180 до 200 К, а також в воді від 20 до 40 К. Вимір падіння напруги на проводі дає можливість визначити локальну швидкість рідини. Два основні режими роботи: режим постійного струму коли коливання напруги на манометрі обумовлені зміною температури та опором самого проводу. Режимом постійної температури який підтримується системою зворотного зв'язку зі змінним струмом, яка і нагріває

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

датчик. Той чи інший режим можна використовувати в залежності від конкретного характеру вимірювань.

Є декілька способів його реалізації, а саме пристрої з гарячим дротом можна класифікувати як анемометр з постійною температурою, анемометр постійного струму, анемометр постійної напруги. Отже, вихідна напруга цих анемометрів є результатом схеми всередині пристрою, що намагається підтримувати постійну змінну за законом Ома.

Також використовуються анемометри широтно-імпульсної модуляції, де швидкість дізнатися за тимчасовою довжиною імпульсу який повторюється, імпульсу струму, від якого встановлюється певний опір на проводі, і потім зупиняється при досягненні ледь критичного значення, а потім імпульс знову відправляється.

Хоч і анемометри з гарячим дротом і надзвичайно тонкі, мають точний просторовий дозвіл в зрівнянні з іншими методами вимірювання, і надзвичайно високу частотну характеристику. Майже універсальні для детального вивчення турбулентних потоків.

В сучасних автомобілях термоанемометри використовується в якості датчика масової витрати повітря .

Основний недолік термоанемометрів – це низька механічна міцність, через дуже тонкий дріт, ще один з недоліків – окислення та забруднення гарячого дроту.

1.1.3 Ультразвуковий анемометр

Принцип роботи ультразвукових анемометрів полягає в використанні ультразвукових хвиль для вимірювання швидкості вітру. Між декількома перетворювачами заміряється швидкість вітру яка залежить від часу польоту звукових імпульсів. Для того щоб проводити вимірювання швидкості в

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		10

багатовимірному потоці можна об'єднати виміри з декількох датчиків. Роздільна здатність встановлюється за допомогою довжини шляху між перетворювачами, яка в більшості випадків становить 10-20 см. Тимчасовий дозвіл в ультразвукових анемометрів може бути від 20 Гц або вище, що робить їх чудовими пристроями для вимірювань турбулентності.

Відсутність будь-яких рухомих частин допомагає зменшити кількість сервісних обслуговувань на відкритих автоматичних метеорологічних станціях та на погодніх буюх, де солоне повітря або пил несприятливо впливають на точність і надійність звичайних чашково-крильчатих анемометрів.

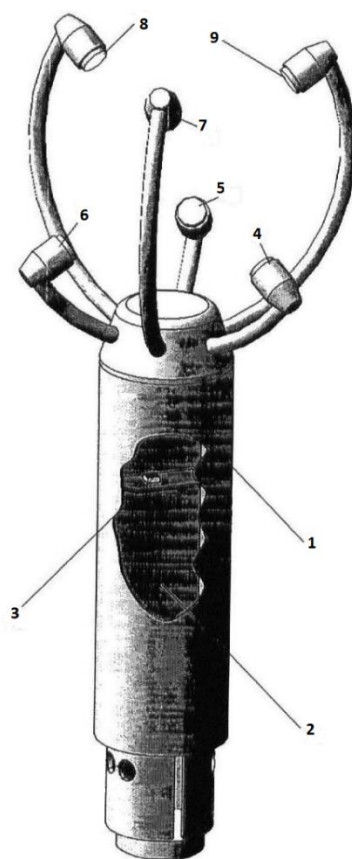


Рисунок 1.3- Типовий ультразвуковий анемометр:

1- блок де знаходяться датчики; 2 – пристрій для обробки інформації;
3 - компас електромагнітний; (4-9) – декілька ультразвукових датчиків

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		11

Для підтримки виміру ультразвукові анемометри використовують кінетичну енергію вітру. Додаткове джерело для надання параметрів їм не потрібне. Також, є й інші типи анемометрів, які використовують додаткові джерела в якості параметрів швидкості вітру, як ось швидкість звуку. В повітрі, звук передається при зміні тиску повітря уздовж напрямку руху звуку. Швидкість звуку рівняється близько 330 м/с при температурі 15 °С. Звук передається у вигляді довготи хвилі. При збільшенні температури, швидкість звуку збільшиться.

Рівняння для розрахунку швидкості звуку в сухому повітрі

$$V_s = 331.3 \frac{\text{м}}{\text{с}} * \sqrt{\frac{T_K}{273.15^{\circ}\text{C}}} = 331.3 \frac{\text{м}}{\text{с}} \sqrt{1 + \frac{T_c}{273.15^{\circ}\text{C}}} \quad (1.0)$$

де температура в Цельсіях - це T_c ,

а T_K – температура в Кельвінах [2].

Застосувавши ряд Тейлора [3], перетворимо цей вираз у простішу форму.

Так як мікроконтролер не в змозі виконати квадратні обчислення потрібно спростити це рівняння. При використанні в промисловості дані збираються та обробляються мікроконтролером.

Якщо перші два терміни розкладання Тейлора застосувати до рівняння 1.0 рівняння перетворюється в

$$V_s = 331.3 \frac{\text{м}}{\text{с}} \left(1 + \frac{T_c}{2 * 273.15} \right) = 331.3 + 0.606 T_c \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right),$$

Коли звук і вітер рухаються в одному напрямку, результуюча швидкість саме звукових хвиль (V_1) дорівнює

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

$$V_1 = V_s + V.$$

А отже, результуюча швидкість звуку (V_2), якщо напрямку вітру протилежний напрямку поширення звукових хвиль, становить

$$V_2 = V_s - V.$$

Так як швидкість звуку змінюється з температурою і майже статична при зміні тиску, ультразвукові анемометри можна використовувати в якості термометрів. У авіації, метеорологічних станціях, метеорологічних буюх, судноплавстві та вітряних турбінах, використовуються двовимірні (акустичні анемометри. Щоб провести моніторинг вітрових турбін знадобиться частота оновлення швидкості вітру від 3 Гц, досягається за допомогою акустичних анемометрів доволі легко. Звукові анемометри тривимірні, якщо використовувати з інфрачервоними газоаналізаторами які мають швидкий відгук або аналізаторами на основі лазера. Двовимірні датчики вітру мають два типи:

Перший тип має дві ультразвукові доріжки: і такий тип має 4 важеля. Його головний недолік – порушення вітрового потоку плечами при русі вітру в напрямку ультразвукового шляху, цим самим знижуючи точність отриманого вимірювання.

Три ультразвукові доріжки мають 3 важеля. Цей тип має покращену точність датчика та набагато меншу аеродинамічну турбулентність через те, що дають одностороннє надмірне вимірювання.

Головний недолік ультразвукових анемометрів - це викривлення самого потоку конструкцією, яка підтримує перетворювачі і вимагає корегування, заснованого на вимірах аеродинамічної труби, щоб зменшити вплив.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1.1.4 Лазерний доплерівський анемометр

Принцип роботи лазерних доплерівських анемометрів полягає в розділенні променю світла лазера на пучки і 1 з них виходить з анемометра. Насіннєві матеріали або просто частинки, які протікають всі разом з частинками повітря недалеко від того місця, де промінь виходить, віддзеркалюють розсіювання світла до детектору, де він вимірюється відносно вихідного лазерного променю. Коли маленькі частинки знаходяться у русі, вони викликають доплерівський зсув, який застосовується для розрахунку швидкості частинок, а отже, і повітря навколо анемометра[4]. Головними перевагами цього методу є: високе просторове та тимчасове розширення, неінтрузивне вимірювання, відсутня потреба в калібруванні та можливості виміру в реверсивних потоках.

Головна конфігурація лазерного доплерівського анемометра складається з:

- Безперервної лазерної хвилі.
- Передавальна оптика, з роздільником променю і фокусуючою лінзою.
- Сигнальний кондиціонер і процесор сигналів.
- Приймальна оптика, що містить лінзу фокусу, інтерференційний фільтр та фотоприймач.

В передових системах можуть бути системи траверси і кутові кодери. Осередок Брегга часто використовується як роздільник променю, який виглядає як скляний кристал з вібруючим п'єзо-кристалом. Через вібрацію генеруються акустичні хвилі, які діють як оптична сітка. Сигнал на виході осередка Брегга рівний двом пучкам з частотами f_0 і $f_{зсув}$ рівної інтенсивності. Орієнтовані вони на оптичні волокна, доводячи їх до зонду.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Паралельні вихідні промені в зонді з волокон сфокусовані лінзою для перетину в обсязі зонда. Сам об'єм зонду складає декілька міліметрів.

Через інтерференції між лазерними променями модулюється інтенсивність світла, що призводить до створення так званих смуг, паралельних площин високої інтенсивності світла. Відстань балки d_f залежить від довжини хвилі лазерного випромінювання і кута між пучками:

$$d_f = \frac{\lambda}{2\sin(\frac{\theta}{2})},$$

в якому кут між пучками – це θ ,

а λ – довжина хвилі.

Через кожен прохід частинок розсіюється світло, яке пропорційне локальній інтенсивності світла.

Інформація про швидкість потоку надходить від світла, розсіяного маленькими частинками, що при русі за обсягом зонду переносяться в рідині. Допплерівський зсув міститься в розсіяному світлі яке ще і містить, доплерівську частоту f_D , який залежить від компоненти швидкості, яка перпендикулярна бісектрисі двох лазерних променів.

Світло яке розсіялось збирається приймальною лінзою і фокусується на фотодетекторі. Необхідна довжина хвилі пропускається через фільтр перешкод до фотодетектору. Це видаляє шум від зовнішнього світу і від хвиль іншої довжини.

Сигнал обробляється в лазерному доплерівському анемометрі покроково.

Флуктуюча інтенсивність світла перетворюється фотодетектором в доплерівський вибух, електричний сигнал, який є синусоїдальним з гаусовою оболонкою.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

В процесорі сигналів доплерівські сплески фільтруються і відправляються, що визначає f_D для кожної частинки. Таким чином інтервал інтервалу d_f інформує про відстань, пройдену часткою. Доплерівська частота f_D інформує про час

$$t = \frac{1}{f_D}.$$

Так як швидкість дорівнює відстані, поділеній на час, тоді вираз для швидкості

$$V = d_f * f_D.$$

Можна додати два додаткових промені до оптики в площині щоб виміряти дві компоненти швидкості, перпендикулярній першим пучкам.

Два окремі зонди можуть виміряти всі три компоненти швидкості, причому всі промені перетинаються в загальному обсязі. Для розділення вимірюваних компонентів потрібно використовувати різні довжини хвиль. Для того щоб виявити розсіяне світло трьох довжин хвиль потрібно використовувати три фотодетектора з відповідними фільтрами перешкод.

Теперішні системи лазерних доплерівських анемометрів використовують компактний передавач, який містить кольорові світло-розділювачі та Брегівський осередок. Кольорові світло-розділювачі потрібні для генерації до 6 променів: кожен з яких буде зміщений та зсунутий. До зондів ці промені пропускаються через оптичні волокна.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		16

1.1.5 Анемометр нажимної пластини

Анемометри нажимної пластини – одині з перших сучасних анемометрів. Їх конструкція складаються з плоскої пластини, яка підвішується зверху, так щоб вітер відхилив саму пластину. Новіші версії цієї форми склалися з плоскої пластини, круглої або квадратної, яка підтримується вітром. Тиск вітру на головній пластині компенсується пружиною. Саме стиснення пружини визначає фактичне зусилля, яка залежить від впливу вітру на пластину, і це або зчитується на рекордері, або на підходящому калібруванні. Основна проблема таких приладів – це відсутня реакція на легкі вітри, проблеми з точністю при високих показаннях швидкості вітру і занадто повільна реакція на зміну вітру.

Анемометр нажимної пластини в більшості складається з гойдаючої пластини, яка утримується в кінці горизонтального важеля, прикріпленого до вертикального валу, де рука може вільно обертатися навколо нього. За допомогою флюгеру плитка завжди перпендикулярна до вітрового потоку.

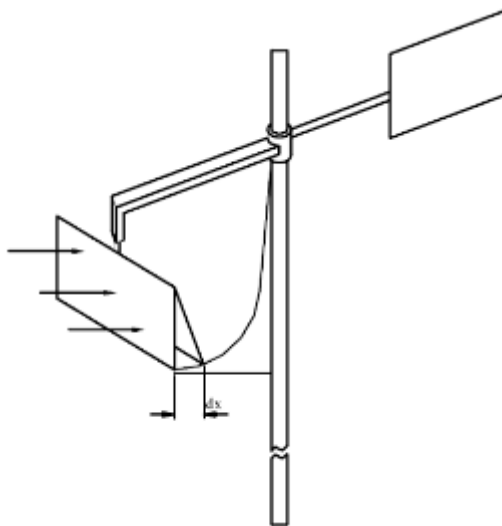


Рисунок 1.4 - Анемометри нажимної пластини

Так як коефіцієнт опору пластини можна прийняти за одиницю тиску, що діє на пластину, можна визначити P як

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		17

$$P = \frac{1}{2} \rho_a V^2,$$

в якому швидкість вітру – це V ,

а ρ_a – щільність повітря.

Тиск змушує пластину вигинатися всередину. В термінах швидкості вітру її можна відкалібрувати як відстань, де від сили вітру залежить коливання пластини. Для вимірювання рвучких вітрів та передбачення вітрових аварій на мостах, анемометри нажимної пластини ідеально підходять.

1.1.6 Звуковий анемометр - термометр

Звуковий анемометр - термометр вимірює час, для проходження відомої відстані акустичним сигналом. Отже можна обчислити середню швидкість уздовж цього шляху. Є два методи визначення: імпульсний та безперервної хвилі, основна частина комерційних пристроїв сьогодні використовує імпульсний метод.

Такий пристрій описується Каймалом і Бусінджером [6], що складається з декількох передавальних і приймаючих перетворювачів, які просторово розділені. Ці випромінювачі випромінюють безперервно, а випромінювані частоти між собою не гармонійно пов'язані. Імпульси представлені як переміщення між самими одиницями. Час, який витрачається на саму передачу сигналу, рівний t_1 і t_2 . Відстань яка буде пройдена в цьому часі позначається як похідна швидкості та часу.

Тоді

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		18

$$t_1 = \frac{d}{ccos + \omega}; \quad t_2 = \frac{d}{ccos\alpha - \omega},$$

де c – стрімкість,

d - поділ між одиницями,

α - кут відхилення, викликаний по потоку.

Отже

$$\sin \alpha = \frac{u}{c},$$

і

$$\cos^2 \alpha = 1 - \sin^2 \alpha,$$

суму та різницю часу транзиту можна розрахувати за формулами

$$t_1 - t_2 = \frac{2d\omega}{c^2 - v^2}, \quad (1.1)$$

$$t_2 + t_1 = \frac{2d\cos\alpha}{c^2 - v^2}. \quad (1.2)$$

Розглянувши рівняння 1.1 можна помітити залежить від потоку, в той же час рівняння 1.2 – не залежить. Тоді для отримання «акустичної температури» можна використати рівняння 1.1.

Коли $v \ll c$, згідно Коппіні і Тейлору [8], рівняння 1.1 перетворюється на

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		19

$$\omega = \frac{c^2}{2d} (t_2 - t_1), \quad (1.3)$$

тоді можна обчислити с як

$$c = 20.067 \sqrt{T(1 + 0.32 \frac{e}{p})}, \quad (1.4)$$

де с – атмосферний тиск,

Т - абсолютна температура,

е - тиск пару води.

Коппін і Тейлор [7] говорили, що прилади, які були засновані на цьому методі, можуть показувати дрейф при зміні елементів навколишнього середовища.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

1.1.7 Акустичний резонансний анемометр

Акустичний резонансний анемометр визначає фазові зміни, які викликаються через потік акустичного резонансу в каналі.

Резонатор який вбудований в анемометр складається з масиву ультразвукових перетворювачів, які в свою чергу використовуються щоб отримати окремі шаблони на ультразвукових частотах. При проходженні вітру всередині порожнини, відбувається зсув фаз. Після вимірювання величини зсуву фази в прийнятих сигналах кожним перетворювачем, якщо застосувати математичну обробку даних, можна добитися наряду вітру і точних горизонтальних вимірів швидкості.



Рисунок 1.5 - Акустичний резонансний анемометр

За допомогою технології акустичного резонансу можна знімати покази усередині невеликої порожнини, через це датчики мають менший розмір, а ніж інші ультразвукові датчики. Маленькі розміри роблять їх стійкі до обмерзання легкими для нагріву і фізично міцними. При такій комбінації характеристик зрозуміло, що вони забезпечують високий рівень доступності даних і чудово підходять для управління вітровими турбінами та для інших застосувань, для яких потрібні маленькі надійні датчики.

Головна проблема цього датчика в порівнянні з каліброваним механічним датчиком - точність вимірювання. Для багатьох остаточних цілей

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ця проблема нівелюється довговічністю сенсора та тим фактом, що після встановлення він не потребує повторного калібрування.

Коли фаза на одному перетворювачі перевіряється, інший акустичний перетворювач використовується для збудження акустичного резонансу. Для того щоб обчислити компонент швидкості потоку, використовується різниця фаз, а робота двох перетворювачів повертається назад.

Третій перетворювач використовується для визначення компонента потоку в іншому напрямку. Через відсутність рухомих деталей та компактний дизайн пристрій буде надійний, а за допомогою методу акустичного резонансу, шляхом забезпечення безперервного калібрування, ще й зменшує помилки, через навколишнє середовище, такі як зміна температури чи тиску навколишнього середовища. Через покращення відношення сигнал / шум, яке буде лінеаризувати зв'язок між швидкістю і фазою та відображатись на інших частотах вимірювань.

Сила опору виражається як

$$F_D = C_D \frac{1}{2} A \rho_a V^2, \quad (1.5)$$

де V - швидкість вітру,

ρ_a - щільність повітря,

A - площа чаші, яка підлягає впливу вітру,

C_D - коефіцієнт опору.

Так як коефіцієнт опору увігнутої поверхні набагато більше, ніж опуклої її частини, чаша з її увігнутою стороною, яка звернена до вітру, має більшу силу опору. Через це чашки змушені обертатися на своїй центральній осі. Швидкість та інтенсивність обертання пропорційне швидкості вхідного вітру.

Калібрування додатково проводиться по швидкості вітру, яка в свою чергу може бути записана і виміряна. Вони мають деякі слабкі місця, хоч ці

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

анемометри і можуть працювати в різних суворих умовах. Чашковий анемометр швидко прискорюється коли є вітер, але довго сповільнюється, коли вітру немає. Тому чашкові анемометри не дають точних вимірів при пориві вітру. Через те, що сила опору прямо пропорційна щільності, при будь-яких змінах щільності повітря буде змінюватися і точність вимірюваної швидкості. Але незважаючи на ці обмеження, чашкові анемометри використовуються для вимірювання швидкості вітру як в вітроенергетичних застосуваннях, так і в метеорологічних.

Швидкість яку ми виміряли за допомогою чашкового анемометра - це усереднена одновимірна кількість. Але інтерпретація цієї величини - це важливе значення для того щоб розробити послідовну класифікацію.

Дивлячись на залежність від часу, тривимірний вектор швидкості вітру з поперечним компонентом v , поздовжнім компонентом u , та складовою w в якості даних, що подаються на вхід для чашкових анемометрів.

Є два різних способи для визначення швидкості вітру. Найбільш часто розглядається горизонтальна швидкість вітру. Виміряємо компоненти горизонтальної швидкості вітру, такі як довжина вектору швидкості вітру та ін.

$$|\vec{U}| = \int_t \sqrt{u^2 + v^2}.$$

Отже, якщо чашковий анемометр має косинусний кутовий відгук, то його вертикальна складова w автоматично фільтрується.

Інше ж визначення містить в собі вертикальну складову w . Хоч і вимірює тільки один параметр, воно було назване вектором, але так як він має всі три складові вектора, його можна назвати тривимірним усередненим виміром

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		23

$$|\vec{U}| = \int_t \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}.$$

Основна різниця між цими визначеннями полягає в інтенсивності турбулентності. Для турбулентності 15% в рівнинній місцевості різниця становить близько 0,5%, в той час як для турбулентності 30% це близько 1%. Тут і криється основна відмінність між двома визначеннями.

Отже, середній момент аеродинамічних сил, які діють на вітроприймач анемометра, пропорційний квадрату швидкості вітру V і ковзання. Квадрат швидкості рівний відносному відхиленню ω від статичного значення ω_0 , в залежності від діючого значення швидкості вітру. І тоді в цьому випадку рівняння руху вітроприймача записуються

$$I \frac{d\omega}{dt} = AV^2 \left(\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \right), \quad (1.6)$$

в якому момент інерції ротора анемометра – це I ,

V – швидкість вітрового потоку,

A – коефіцієнт пропорційності.

Якщо розглядати роботу анемометра в періодичному змінному потоці можна перейти до рівняння, записаному в безрозмірному виді, а отже використаємо наступні співвідношення і виразимо змінні величини в відносних одиницях

$$\bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_0},$$

$$\bar{V} = \frac{V}{V_0},$$

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		24

$$\bar{t} = \frac{t}{T},$$

в якому час - це t ,

ω_0 - кутова швидкість, яка рівна середньому V_0 ,

T – час коливання потоку.

Перейшовши від кутових швидкостей до окружних, рівняння 1.6 можна перетворити наступним чином

$$\frac{d\bar{U}}{d\bar{t}} = 2\pi k(\bar{V}^2 - \bar{V}\bar{U}), \quad (1.7)$$

в якому k – коефіцієнт вітроприймача.

k для чашкових анемометрів визначається виразом

$$k = \frac{\rho V_0 T a^2 r^2 \alpha \lambda_0}{4I}, \quad (1.8)$$

в якому a – радіус півсфери чашкового анемометра,

ρ – щільність повітря,

r – відстань до центру чашки від осі анемометра.

$$\lambda_0 = \frac{V_0}{U_0},$$

α – аеродинамічний коефіцієнт, який залежить від конструкції,

U_0 – окружна швидкість.

Необхідною характеристикою анемометра являється параметр k , який показує його інерційність, а також умови роботи в змінному потоці.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Зв'язок між шляхом синхронізації L та параметром k

$$k = \frac{V_0 T}{2\pi L},$$

максимальне відхилення швидкості вітру, описується невизначеністю експлуатаційного стандарту, при вимірюванні анемометром, класифікація є тільки числом в порівнянні з реальною швидкістю вітру[8].

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1.2 Опис принципової схеми анемометра

Чашковий анемометр, складається з трьох (або чотирьох) чашок на рівній відстані, які прикріплені до центру вертикальної вісі. Виготовляються з легкого матеріалу, мають напівсферичну або конічну форму. На самих чашках по всій поверхні розміщений шар гнучких електро-обігрівачів. В даному випадку чашки виготовлені з пластику. Чашки кріпляться до тримача. Тримач також виготовлений з пластику. Обігрів тримача проходить як з зовнішньої його сторони так і з середини.

Трьохчашкова вертушка слугує вітроприймачем чашкового анемометру, вертушка закріплюється в 4 тримачі який приєднаний до 3 ступиці. Коли вітер починає впливати на чашки анемометра, вертушка починає обертатися з швидкістю яка залежить від швидкості вітру. При обертанні лопатей рухома сила передається до 3 ступиці, що передає крутний момент до 1 тахогенератору постійного струму. Тахогенератори призначені для перетворення частоти обертання валів машин і механізмів в пропорційну електричну напругу. Основною технічною вимогою до тахогенератора є збереження лінійності і симетричності вихідних характеристик у всьому діапазоні зміни частоти і напрямку обертання. Вихідний сигнал тахогенератору передається до 2 пристрою спряження який посиляє дані до системного блоку.

Системний блок в свою чергу обробляє всю надану інформацію записує на носій та відправляє до бази даних. В системному блоці розміщена електронна обчислювальна машина (ЕОМ) та декілька датчиків температури. За допомогою ЕОМ та датчиків температури контролюється рівень нагрівання всього анемометру.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

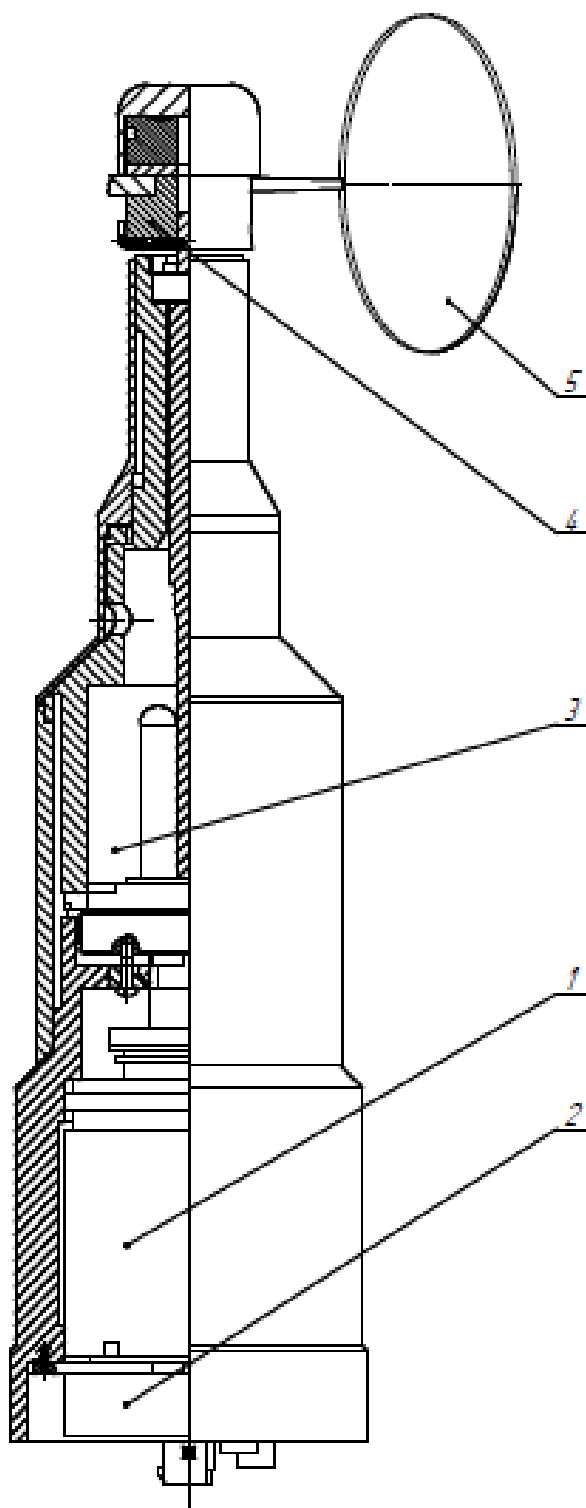


Рисунок 1.6 - Чашковий анеометр:

1 – тахогенератор; 2 – пристрій спряження; 3 - ступиця; 4 - тримач;
5-лопать;

Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

МД ПІ8103.000.000 ПЗ

Арк.

28

1.3 Основні статичні характеристики анемометра

1.3.1 Аналітична модель

Так як чашковий анемометр показує лінійну поведінку, то можна виразити лінійним рівнянням передаточну функцію, яка пов'язує швидкість вітру V з вихідною частотою анемометра, f .

$$V = A * f + B,$$

в якому нахил – це A ,

а B – зміщення, яке є калібрувальними коефіцієнтами, зазначеними процесом калібрування.

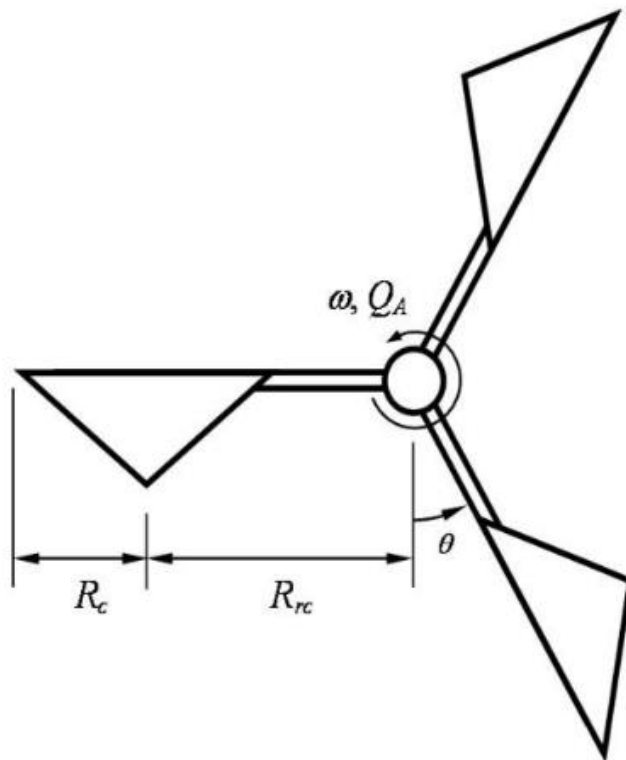


Рисунок 1.7 – Вітроприймач з трьох чашок

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		29

Можна визначити коефіцієнт анемометра чашки K

$$K = \frac{V}{2\pi f_r R_{rc}},$$

в якому f_r - частота обертання анемометра,

V - швидкість вітру,

R_{rc} - радіус повороту центру чашок.

Знайдемо рівняння з яким фізичним значенням, а отже передаточну функцію потрібно переписати в термінах частоти обертання анемометра f_r замість f

$$V = A_r * f_r + B, \quad (1.9)$$

де A_r - це результуюча множення кількості імпульсів, заданих анемометром N_p , на калібрувальну константу A .

Кількість імпульсів залежить від внутрішньої системи перетворення обертання в електричні імпульси. Системи на основі оптоелектроніки в більшості випадків дають високі частоти пульсу за обертання від 6 до 44, а магнітні системи дають на одне обертання від 1 до 3 імпульсів.

Щоб краще підійти до проблеми, шляхом інтегрування аеродинамічної нормальної сили була розроблена аналітична модель з трьох компонентів. Початковою точкою є рівняння

$$I \frac{d\omega}{dt} = Q_A + Q_f, \quad (1.10)$$

де Q_A - аеродинамічний крутний момент,

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		30

I - момент інерції ротора,

Q_f - момент тертя,

$$Q_f = B_0(T) + B_1(T)\omega + B_2(T)\omega^2, \quad (1.11)$$

коефіцієнти B_0 , B_1 і B_2 – негативні,

ω - швидкість обертання.

Але, слід зауважити, що момент тертя Q_f , в рівнянні (1.10) має негативний знак в новій версії довідки [9]. А отже такі коефіцієнти як B_0 , B_1 і B_2 будуть додатними, якщо це враховувати.

При врахуванні аеродинамічного крутного моменту, який створює кожна чашка ротора. Якщо забрати тертя з рівняння (1.9), то можна отримати наступне рівняння для руху ротора

$$\begin{aligned} I \frac{d\omega}{dt} = & \frac{1}{2} \rho S_c R_{rc} V_r^2(\theta) c_N(a(\theta)) + \\ & + \frac{1}{2} \rho S_c R_{rc} V_r^2(\theta + 120^\circ) c_N(a(\theta + 120^\circ)) + \\ & + \frac{1}{2} \rho S_c R_{rc} V_r^2(\theta + 240^\circ) c_N(a(\theta + 240^\circ)), \end{aligned} \quad (1.12)$$

де c_N - аеродинамічний коефіцієнт нормальної сили,

α - локальний напрям вітру щодо чашок,

V_R швидкість вітру відносно чашок,

θ - кут ротора відносно опорної лінії,

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

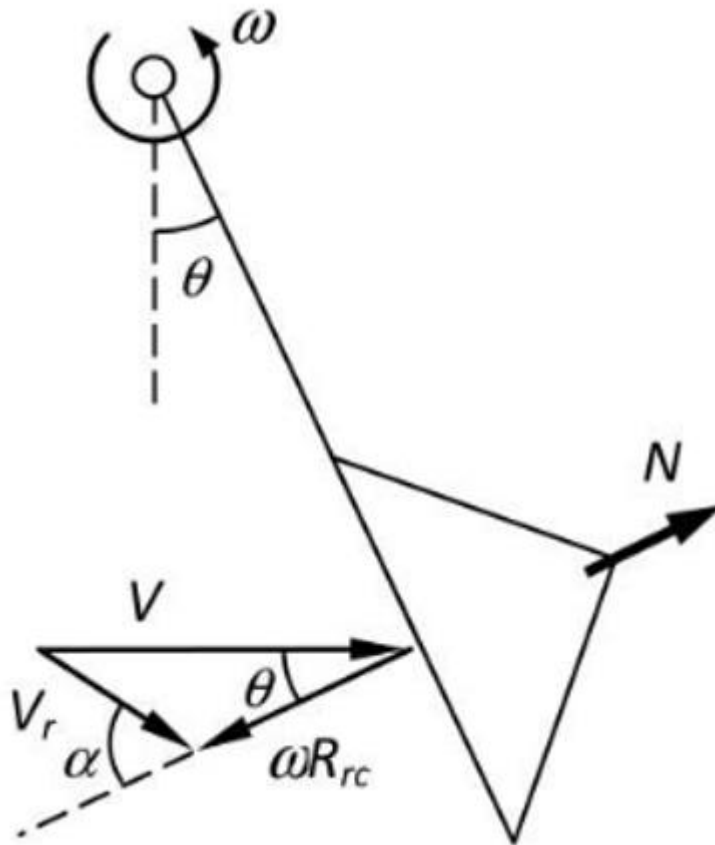


Рисунок 1.8 – головні величини, що приймають участь в обертанні чашки

Формула для знаходження області чашок

$$S_c = \pi R_c^2,$$

Якщо підставити в рівняння радіус чашки, отримаємо:

$$S_c = \pi * 35^2 = 1225\pi$$

Перелік змінних що беруть участь в обертанні чашки анемометра(рис.1.8):

V - швидкість вітру,

N - нормальна аеродинамічна сила на чаші,

theta - кут повороту ротора,

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		32

V_r - відносна швидкість вітру до чаші,

α - напрям вітру щодо чашки,

ω - швидкість обертання ротора.

Виразимо швидкість вітру V_R , по відношенню до чашки під кутом θ ,
можна записати як

$$V_r(\theta) = \sqrt{V^2 + (\omega R_{rc})^2 - 2V\omega R_{rc}\cos(\theta)}, \quad (1.13)$$

θ - кут положення ротора,

α - напрямок вітру по відношенню до чаші,

і залежить від даного ствердження

$$\tan(\alpha) = \frac{K\sin(\theta)}{K\cos(\theta) - 1}, \quad (1.14)$$

в якому K – це коефіцієнт анемометра, який можна дізнатися з

$$K = \frac{V}{\omega R_{rc}} + \frac{k_d + 1}{k_d - 1}, \quad (1.15)$$

де

$$k_d = \sqrt{\frac{cD_1}{cD_2}},$$

в якому cD_2 - опукла сторона,

cD_1 - увігнута сторона.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

c_{D1} і c_{D2} являються коефіцієнтами сили аеродинамічного опору в чашках.

Слід зазначити, що в термінах розкладання рядів Фур'є вимірний коефіцієнт аеродинамічної сили N , можна доволі легко спростити

$$c_N(\alpha) = c_0 + c_1 \cos(\alpha) + c_2 \cos(2\alpha) + c_3 \cos(3\alpha) + \dots, \quad (1.16)$$

в якому кут вітру α , можна виразити використавши кут повороту ротора θ з цього виразу

$$\cos(\alpha) = \eta_0 + \eta_1 \cos(\theta) + \eta_2 \cos(\theta)^2 + \eta_3 \cos(\theta)^3, \quad (1.17)$$

де η_0, η_1, η_2 і η_3 - функція коефіцієнта анемометра K (рівняння 1.15)

$$\eta_0 = \frac{-1}{\sqrt{1+K^2}}; \eta_1 = \frac{K}{\sqrt{1+K^2}} - \frac{1}{K^2-1}; \eta_2 = \frac{1}{\sqrt{1+K^2}}; \quad (1.18)$$

$$\eta_3 = \frac{K^2}{K^2-1} - \frac{K}{\sqrt{1+K^2}}.$$

Розглянувши рівняння яке характеризує лінійну тимчасову інваріантну систему першого порядку, яка в свою чергу чудово підходить до поведінки реального анемометра

$$\omega' = (v' + R_2(v'^2; \omega'^2; v'\omega')) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right). \quad (1.19)$$

Треба зазначити, що залишковий член R_2 який завжди додатний, так як відгуком системи являється ω' , тоді як обурення v близьиться до 62% від його

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

значення при $t = \tau$. Тоді, більший відгук анемометра, при прискоренні вітру (додатне значення v'), ніж коли він сповільнюється (від'ємне значення v').

Звертаючи увагу на рівняння (1.16) - (1.17), та рівняння (1.19) можна скласти рівняння для стаціонарного стану, роблячи результат рівним нулю і усереднивши аеродинамічний крутний момент на один оберт. Отримуємо пряму залежність між фактором самого анемометра та таких коефіцієнтів c_0 і c_1

в рівнянні

$$0 = \left(1 + \frac{1}{K^2}\right) \left(1 - \frac{1}{2} \frac{C_1}{C_0} * \frac{1}{\sqrt{1 + K^2}}\right) -$$

$$- \frac{1}{4} \frac{C_1}{C_0} \frac{1}{K} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + K^2}} + \frac{3K^2 - 4}{K^2 - 1}\right). \quad (1.20)$$

В залежності від коефіцієнтів Фур'є $\frac{C_1}{C_0}$ (які залежать тільки від аеродинаміки чашки) це рівняння дає коефіцієнт анемометра K . Таким чином, усереднене значення швидкості обертання ротора ω для кожної швидкості вітру V можна отримати з рівняння (1.15). Використовуючи справжню модель можна отримати рівняння для аналізу перевищення швидкості. Розглянувши негармонічну частину рівняння (1.18), її можна записати таким чином

$$\frac{I}{\frac{3}{2} \rho S c R_{rc} c_0} \frac{d\omega}{dt} = (V^2 + (\omega R_{rc})^2) \left(1 + \frac{c_1}{c_0} \left(\eta_0 + \frac{1}{2} \eta_2\right)\right) -$$

$$- \omega R_{rc} V \frac{c_1}{c_0} \left(\eta_1 + \frac{3}{4} \eta_3\right), \quad (1.21)$$

то, при розгляданні малих коливань і швидкості обертання, ω

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		35

$$V = V_0(1 + v'); \omega = \omega_0(1 + \omega'), \quad (1.22)$$

тоді після зміни рішення для стаціонарного стану (рівняння (1.20)) отримаємо, для членів першого порядку, наступне рівняння

$$\frac{I\omega_0}{3pV_0^2 S_c R_{rc} c_0} \frac{d\omega'}{dt} = v' \left(k_1 - \frac{k_2}{2K} \right) - \omega' \left(\frac{k_2}{2K} - \frac{k_1}{K^2} \right), \quad (1.23)$$

в якому K - коефіцієнт анемометра,

$$k_1 = 1 + (\eta_0 + 0.5\eta_2) \left(\frac{c_1}{c_2} \right),$$

і

$$k_2 = (\eta_1 + 0.75\eta_3) \left(\frac{c_1}{c_2} \right).$$

Рівняння (1.23) можна спростити

$$\tau \frac{d\omega'}{dt} + \omega' = \xi v',$$

тоді вирішуємо систему першого порядку

$$\omega' = v' \xi \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right),$$

де постійна часу визначається як

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		36

$$\tau = \frac{I\omega_0}{3pV_0^2S_cR_{rc}c_0(\frac{k_2}{2K} - \frac{k_1}{K^2})},$$

i

$$\xi = \frac{k_1 - \frac{k_2}{2K}}{\frac{k_2}{2K} - \frac{k_1}{K^2}}.$$

Ці рівняння можна спростити, якщо використати рівняння (1.18) і (1.20), зокрема

$$\xi = 1,$$

i

$$\tau = \frac{I}{\frac{3}{2}pScR_{rc}c_0(K - \frac{1}{K})(1 - \frac{c_1}{c_0}\frac{1}{\sqrt{1+K^2}})}.$$

Отже, ми провели розрахунок аналітичної моделі чашкового анемометра.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

1.4 Проведення аналізу точності анемометра

В цьому розділі буде проведено встановлення значень показників, таких як точність, стабільність. Розділ складається з: залежності від щільності повітря, калібрування, поведінки, і моделювання чашкового анемометра в умовах обмерзання та ефекту старіння анемометру.

1.4.1 Проведення калібрування анемометра

Зазвичай головні калібрування анемометрів проводяться в аеродинамічній трубі.

Всі калібрування проводяться відповідно до вимог MEASNET [10] які можна розділити таким чином:

- Коефіцієнт блокування аеродинамічної труби $< 0,05$ для закритих ділянок випробувань.
- 0,02% обмеження інтенсивності турбулентності.
- Періодичне вимірювання якості потоку.
- Цілісність експериментальної установки перевіряється до кожного етапу калібрування.
- Всі перетворювачі і вимірювальне обладнання мають простежуванні калібрування.
- Проводити періодичні перевірки калібрування (максимальна різниця між калібруванням $< 0,5\%$
- Дотримання докладної оцінки невизначеності калібрування [11].

Під час калібрування для калібрувальних коефіцієнтів передавальної функції використовувалось декілька рівнянь

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

$$A_r = \frac{dA_r}{dR_{rc}} R_{rc} - S_c (\zeta + \eta S_c^{-\xi}), \quad (1.24)$$

$$B = (\varepsilon + \phi S_c^{-\gamma}) R_{rc} - \mu S_c^{-\psi}. \quad (1.25)$$

Самими значимими висновками, зробленими під час цього дослідження, були:

- Від радіусу обертання центру чашки, R_{rc} залежить нахил калібрувальної передавальної функції A_r .
- З передньою областю чашок S_c виражається як

$$S_c = \pi R_c^2,$$

чи радіусом чаші R_c . Де нахил рівняння (1.24), dA_r/dR_{rc} , напряду пов'язаний з безрозмірним аеродинамічним коефіцієнтом чашок. Отже коефіцієнт підкріплення dA_r/dR_{rc} не має ніякої залежності від анемометра з тим самим значенням, в той час як інші коефіцієнти типу ζ , η і ξ змінювались від анемометру.

- Зсув функції передачі калібровок B напряду залежить від тих же параметрів форми, але в цьому випадку можна сказати, що кожен вклад не повністю залежить від наступного. Тоді всі параметри підгонки такі як ϕ , μ , ε , γ , і ψ , залежать від анемометру.

Об'єднавши (1.24) і (1.25), виведемо лінійну залежність співвідношенням кількості чашок до радіусу обертання чашки центру та коефіцієнтом анемометра, K

$$K = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{dA_r}{dR_{rc}} - \left(\zeta'^{R_c} + \frac{\eta'}{R_c^{2\xi-1}} \right) \right]. \quad (1.26)$$

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		39

1.4.2 Вплив щільності вітру на результати калібрування

Навколишнє середовище, а саме його вплив, в процесі калібрування на функцію перенесення чашкового анемометра проаналізували в 2012 році в Інституті IDR / UPM [12]. Особливості навколишнього середовища та зміна щільності повітря, враховуються в міжнародному стандарті ІЕС 61400-1 [13] на рахунок оцінки АЕР і вимірювання кривої потужності вітряних млинів. Більш точна інформація ІЕС 61400-12-1 [14] де щільність повітря повинна бути в діапазоні від $\rho = 0,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ до таких значень $\rho = 1,3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, що для класифікації анемометрів визначається як параметр впливу. повинна бути підкреслена важливість обліку змін щільності повітря, через те, що оцінки виробництва енергії вітру мають лінійну залежність від цього параметра.

Ще раніше було відомо про вплив зміни щільності на основні характеристики чашкового анемометра. У праці Шубауера і Мейсона [15] експериментально вивчаються з використанням повітря і води зміни щільності на калібрування анемометра. Ці автори пропонують рівняння для враховування зміни в робочій рідині (тобто щільність повітря) яке виражається як

$$V_0 \sqrt{\rho_0} = V \sqrt{\rho},$$

де ρ_0 - щільність повітря,

V_0 - швидкість повітря,

а V - очікувана швидкість ρ щільності повітря.

Кліматичні умови і особливо температура має значний вплив на щільність повітря. Калібрувальні константи анемометра сильно залежать від цих змін в кліматичних умовах.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1.4.3 Вплив старіння на чашковий анемометр

Було проведено дослідження на втрату продуктивності анемометру через старіння врахувавши аналіз впливу змін щільності повітря на основні характеристики чашкового анемометра. Як тільки анемометр поступить в експлуатацію, втрата продуктивності призведе до зміни калібрувальних констант, B і A .

Якщо розглянути ситуацію з різних боків то, з одного боку, це погіршення яке вплинуло на швидкість обертання анемометра через зношування елементів, тобто основну його властивість - здатність перетворювати енергію вітру в обертання валу. Чи при збільшенні втрати енергії або аеродинаміка чи момент інерції ротора змінюються шляхом додавання маси бруду. При зміні швидкості обертання, її зменшенні, буде помітне постійне збільшення значення A . А якщо подивитися з іншого боку то, якщо тертя збільшилося оскільки він знаходиться на більшому протязі часу в обслуговуванні, через це швидкість вітру необхідна для того щоб він почав обертатися, може бути значно вищою, і цей ефект можна перевести в збільшення постійної B . Слід також зазначити, що ротор має перехідний період часу який починається з моменту експлуатації його служби життєзабезпечення до досягнення стабільного робочого стану, в цілому даний перехідний період присутній у всіх складних механізмах.

Проведено аналіз деградації різних анемометрів. Знайдено декілька випадків. Перший випадок - це деградація анемометрів, які просто зберігаються. Даний випадок порівнювався на багатьох калібровках, які виконувались на різних анемометрах. Інший випадок – приклад деградації анемометра який використовувався в полі. Для вивчення деградації різних моделей анемометрів були зібрані дані калібрування, виконані на тих же

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

анемометрах та були проаналізовані. Більшість анемометрів мали гарний рівень обслуговування, а саме зміна електроніки анемометра і ротора чашок, якщо вони пошкоджені.

1.4.4 Поведінка та моделювання чашкового анемометра в умовах обмерзання

Найчастіше кращі майданчики для встановлення вітроелектростанцій розташовуються на висоті, через збільшення швидкості вітру приблизно на 0,1 м/с на 100м. висоти протягом перших 1000м. Це збільшення є значним, оскільки енергія вітру змінюється залежно від швидкості вітру. У північному кліматі наявна потужність вітру може зрости більш ніж на 10% за рахунок збільшення щільності повітря при нижчих температурах. У Північній Європі (Фінляндія, Швеція та Норвегія), в гірських регіонах Центральної Європи та Північної Америки (Аляска в США, Юкон в Канаді) експлуатувати вітрогенератори на великій висоті, між 1000 м до 3000 м, важко через обмерзання, особливо на більш північних широтах. Датчик анемометра на чашці чутливий до накопичення льоду. Виміряна швидкість вітру може бути зменшена приблизно на 10-30% за рахунок накопичення льоду. Це серйозна проблема для оцінки енергії вітру і для роботи вітроелектростанцій.

Сьогодні доступні різні анемометри "без льоду", засновані на різних принципах вимірювання. Більшість цих інструментів використовують протиобмерзання анемометра шляхом нагрівання. Деякі з таких анемометрів включають лише нагрівання опор і з'єднань. Це нагрівання розплавляє конденсацію всередині приладу і може бути достатньою для гарантії роботи на низовинних метеостанціях. Однак у горбистих або гірських районах таке нагрівання недостатнє для запобігання обмерзання в хмарах на зовнішніх

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		42

поверхнях анемометрів, навіть при використанні додаткового зовнішнього нагріву.

Сьогодні існує кілька типів обертальних анемометрів, які включають нагрівання валу та лопаток із потужністю, потенційно достатньою для запобігання атмосферної обмерзання.

До них відносяться системи NRG Ice Free II (Кеніон та Бліттерсдорф), Vaisala Inc. WAA25 (Aspola) та WAA252, Thies Clima SK565. Потужність нагрівання цих анемометрів коливається в межах від 70 до 1500 Вт і контролюється термостатичним способом. Анемометр та вітровий вентилятор обладнані внутрішнім електричним нагрівачем на 1500 Вт. Нагрівач підтримується на пластині, прикріпленій до тіла анемометра. Датчик температури розміщений у повітряному просторі трохи нижче ротора і підключений до автоматичного регулятора потужності. Висока чутливість виходу до негоризонтального потоку, тобто поза осями. Це може призвести до систематичних помилок, особливо на ділянках, де вектор вітру має значну вертикальну складову, через форму місцевості.

В цьому розділі - напівемпіричне безрозмірне рівняння розроблене для оцінки швидкості повітря на основі вимірювання швидкості обмерзання чашки анемометра при низькій температурі повітря. Це напівемпіричне відношення розвинене використовуючи просту безрозмірну модель, адаптовану до чашки анемометра. Найважливіший параметр для чашкового анемометра - це накопичена рідка вода. Масштабування вмісту рідкої води слід дотримуватися, коли товщина льоду однакова як у масштабованих, так і в посильних випадках. Після нормалізації товщини льоду по діаметру чашки, параметр накопичення A_c [17-18] може бути виражається у вигляді вмісту рідкої води LWC

$$A_c = \frac{LWC * U * t}{f * d * \rho_{ice}} \quad (1.27)$$

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		43

U - швидкість вітру,
 t - час витримки,
 f - тверда фракція,
 d - діаметр чашки ,
 ρ_{ice} - щільність льоду.

Час експозиції t повинен дотримуватися, коли параметр накопичення однаковий і в масштабованому, і в посильному випадку. Для сухого режиму екскреції тверда фракція дорівнює 1, а рівняння масштабування:

$$\frac{LWC_S * U_S * t_S}{d_S * \rho_{iceS}} = \frac{LWC_R * U_R * t_R}{d_R * \rho_{ice-R}} \quad (1.28)$$

Коли льодова маса однакова в масштабованому і посильному випадку, профіль у сухому режимі для обох випадків повинен бути схожий, якщо щільність льоду однакова. Найважливіший параметр щільності льоду – параметр Джонса[19], виражений у діаметрі чашки d , швидкість повітря U , вміст рідкої води LWC , середній об'єм діаметра крапель MDV і температура повітря T .

$$S = \frac{d^{0.82} * U^{0.59} * LWC^{0.21}}{MDV^{0.48} * (T_f - T)^{0.23}} \quad (1.29)$$

Масштабування швидкості U слід дотримуватися в сухому режимі, коли параметр Джонса S однаковий у масштабованому та посильному випадках. Для сухих режимів нарощування рівняння масштабування:

$$\frac{d_S^{0.82} * U_S^{0.59} * LWC_S^{0.21}}{MDV_S^{0.48} * (T_f - T_S)^{0.23}} = \frac{d_R^{0.82} * U_R^{0.59} * LWC_R^{0.21}}{MDV_R^{0.48} * (T_f - T_R)^{0.23}} \quad (1.30)$$

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		44

Знаючи, що масштабовані та посилавальні випадки мають однаковий діаметр чашки і щільність льоду, рівняння масштабування часу, яке описує параметр накопичення і льодового покриву:

$$\frac{t_R}{t_S} = \left(\frac{LWC_S}{LWC_R}\right)^{0.502} * \left(\frac{MVD_S}{MVD_R}\right)^{0.814} * \left(\frac{T_f - T_S}{T_f - T_R}\right)^{0.39} \quad (1.31)$$

Таким чином ми розраховали параметр накопичення льодового покриву на анемометрі.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

1.5 Система обігріву анемометра

Основним елементом системи обігріву був обраний гнучкий електрообігрівач.

Гнучкий електрообігрівач, який містить резистивний елемент, розташований між двома листами електроізоляційного матеріалу. Електроізоляційний матеріал містить композиційні полімерні плівки з шарами із термореактивного і/або термопластичного полімерів. Резистивний елемент розташований у вигляді прямої лінії, кількох прямих ліній, з'єднаних між собою під кутами, спіралі, зигзагом або кільця, а в перетині резистивний елемент виконаний прямокутним або зі згладженим кутом, або кутами.

Гнучкі обігрівачі - це сімейство виробів, яке загалом описує тонкі та гнучкі нагрівальні елементи, які можуть бути прикріплені до різних предметів, щоб забезпечити захист від замерзання, постійну температуру та тепловий контроль від -80°C до $+230^{\circ}\text{C}$ і вище. Виробники оригінального обладнання та інсталятори після продажу повинні визнати, що ці гнучкі обігрівачі підрозділяються на дві основні платформи технологій: оциліндрована фольга та технологія на основі дроту. Найпоширеніший ветеран технології та галузі - це дріт (дротяні нитки, сплетені разом або одножильний дріт), ламінований в силіконовій гумі, посиленій нейлоном. Цей тип обігрівачів, як правило, товщиною 0,32 дюйма і застосовується в багатьох галузях промисловості для кріплення проти трубопроводів, переносних барабанів, обладнання для підігріву їжі та безлічі застосувань, включаючи безліч застосувань на свіжому повітрі завдяки відмінним властивостям силіконової гуми. Крім того, травильні нагрівачі з фольги є відносно новою технологією (розробленою за останні 40 років) і застосовуються в більш досконалих термічних системах управління та / або установках обмеженої товщини.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		46

Основні принципи проектування для досягнення бажаних теплових характеристик гнучких нагрівачів по суті однакові між травленою фольгою та намотаним дротом. Обидва використовують різні резистивні метали з різними характеристиками опору. Розробляючи нагрівач до певного рівня потужності, виробники обох типів нагрівальних технологій мають можливість включати комбінації сплавів, діаметр дроту (або площу поперечного перерізу) та загальну довжину елемента, щоб задовольнити визначений замовником загальний опір і співвідношення вихідної потужності на основі прикладеної напруги.

Основна відмінність між намотуваним дротом і технологією протравленої фольги полягає в тому, що вироби з травленої фольги не використовують дріт із заданим діаметром для створення елемента. Натомість травильні нагрівачі з фольги виготовляються з тонкої фольги із специфічного металевого сплаву – фольги. Через серію виробничих процесів фольга малюється візерунком і згодом травиться, щоб створити струмопровідний елемент, який лежить по всій площі поверхні корпусу нагрівача. При поперечному перетині нарізаний нагрівальний елемент не є круглим, як дріт, а має прямокутну форму, схожу на круглий дріт, що сплющується. Сама фольга може бути такою ж тонкою, як 0,0127мм, а ширина травленого елемента фольги зазвичай буде принаймні 2,54мм.



Рисунок 1.9 - еквівалентні площі поперечного перерізу діаметром 19 ниток (0,0762мм діаметр ниток), суцільним дротом та фольгою товщиною 0,05мм.

Так само, як і колега з намотуваного дроту, розробники гранульованих нагрівачів з фольги прагнуть досягти загального опору одного провідного

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		47

елемента, що проходить через форму нагрівача. Наведена вище схема показує візуальне співвідношення розміру резистивного проводу порівняно з однаковою площею поперечного перерізу фольгованого елемента. Це приклад плетеного дроту, що складається з ниток 0,0762мм та відносного розміру еквівалентного суцільного дроту та ширини еквівалентного протруйованого провідника фольги. Це означає приблизно співвідношення 5 до 1 між загальним діаметром дроту та шириною травленого елемента фольги при використанні фольги 0,05мм з однакового сплаву.

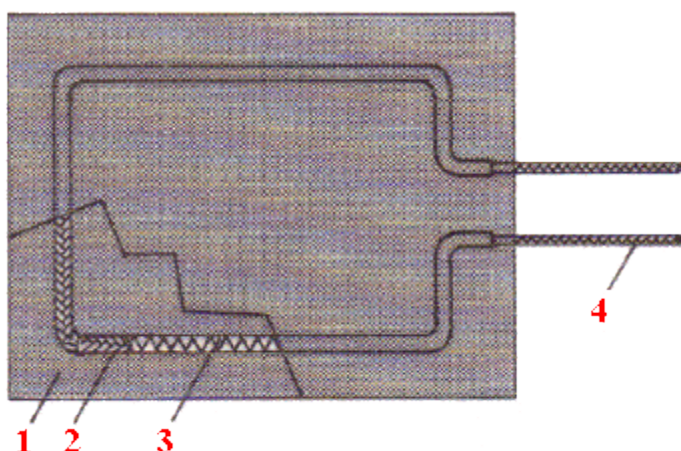


Рисунок 1.10 – конструкція гнучкого нагрівача.

1)алюмінієва фольга; 2)ізоляційний рукав; 3)елемент опору; 4)ізольовані проводи;

Офортні фольговані візерунки, незважаючи на необхідність більшої ширини, щоб досягти рівномірного опору дроту, насправді дозволяють значно чіткіше малювати елементи. Завдяки технології травленої фольги, процеси виготовлення забезпечують жорсткий контроль міжряддя та забороняють елементу контактувати з сусідніми елементом. Цей контроль дозволяє зменшити простір між елементами. Ця точна можливість малювання перетворюється на рівномірний розподіл тепла - одна з причин, з якої виробники використовують нагрівачі з фольгованого травлення. Крім того,

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		48

оскільки шаблон елемента обробляється фотолітографією, забезпечується точна повторюваність нагрівального елемента.

Тепловий контроль і термічна точність травлених фольгованих нагрівачів також обумовлена великою площею поверхні травленого елемента. Порівняно з дротом, де тепло передається через дотичну точку або ділянку дуги кругового елемента, площа плоскої поверхні травленого елемента забезпечує рівномірну та значно більшу поверхню для передачі тепла на тепловідвідник, що випаровується. Накопичувачі на дротяній основі, як правило, повинні працювати сильніше, щоб компенсувати це значення.

Інші причини використання травлених нагрівачів з фольги включають загальну товщину нагрівача. Травильні нагрівачі з фольги можна виготовляти з більш тонких матеріалів, таких як поліімід, що дозволяє виробляти протравлювані фольговані нагрівачі загальною товщиною 0,127мм порівняно з традиційними нагрівачами намотування силіконової гуми з товщиною 0,81мм або більше. . Ця перевага товщини підкреслюється здатністю травленої фольги забезпечувати нагрівання в невеликих упаковках та навколо щільних поверхонь кріплення радіусу вигину.

Ще один цінний аспект технології травленої фольги полягає в тому, що ці типи обігрівачів можуть легко включати компоненти, оскільки пристрої можна припаяти безпосередньо до фольги нагрівача, використовуючи традиційні технології пайки. Цей тип конструкції не тільки дозволяє додавати окремі компоненти, такі як термітери та запобіжники, але також дозволяє розробляти частину нагрівача за допомогою вбудованої гнучкої друкованої плати, яка може забезпечувати логіку управління іншими компонентами в системі.

Для розрахунку задаються наступні умови експлуатації:

- 1) Питома потужність - $P_{\text{пит}}$, (Вт/см²), яка розраховується виходячи з умов експлуатації (необхідної температури поверхні, що обігрівается, теплопровідність теплоємності матеріалу поверхні, теплових потоків між поверхнею і її оточенням);

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		49

- 2) Напруга живлення (U, В);
- 3) Площа (S, см²) і форма поверхні, на яку буде встановлюватися обігрівач;
- 4) Коефіцієнт заповнення - K_з, виведений практичним методом і враховує співвідношення площі провідника до площі обігрівача.

Виходячи з показників напруги і потужності, розраховується омічний опір провідника, в залежності від величини якого вибирається матеріал провідника з певним питомим опором - ρ, (Ом*см). Потім виробляють розрахунок перетину і довжини провідника наступним чином: задається приблизна товщина провідника, вирішується система рівнянь методом підбирань, в якій розраховується його ширина і довжина. При необхідності береться інша товщина провідника і рівняння перераховується до отримання оптимального варіанту заповнення заданої площі.

Визначення омічного опору

$$R = \frac{U^2}{P} \quad (1.32)$$

де, U – напруга,

P – потужність.

Визначення довжини провідника

$$\begin{cases} L = K_z * \frac{S}{W_d} \\ L = R * h_{\phi} * \frac{W_d}{\rho} \end{cases} \quad (1.33)$$

де, W_д – ширина дорожки,

h_ф- товщина фольги,

ρ - питомий опір матеріалу провідника.

Оптимальним варіантом заповнення, тобто, розташуванням провідника на заданій площі (конфігурація провідника), може бути варіант, в якому

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		50

провідник має мінімально можливу відстань між сусідніми лініями (витками), менше якого відбувається пробій. Причому форма поверхні електрообігрівача розміром 50 × 200мм може враховувати, наприклад, сферичну форму поверхні, що обігрівается, діаметр якої дорівнює 1,7 м.

Отже гнучкі електронагрівачі ефективно справляються з своєю задачею та мають ергономічні розміри, що критично впливає на ефективність анемометра в цілому. Контроль над температурою досягнуто за допомогою даної технології та програмного забезпечення.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

1.6 Програмне забезпечення

На даний момент ефективність розумного пристрою залежить від 2-ох факторів. Перший – структура та матеріали самого пристрою, друге – це його програмне забезпечення. І дуже важко визначити від чого якість кінцевого продукту залежить більше.

Отже головним завданням являється вибір мови написання програми та реалізація основних функцій.

1.6.1 Вибір мови програмування

Найбільш задовільним варіантом буде мова програмування C++. Так як вона надає широкий спектр можливостей(немає обмежень на роботу з пам'яттю), компільована мова програмування, найбільша швидкість компіляції та обробки даних, можливість використання основних бібліотек C, що дозволяє працювати напряду майже з будь-якими датчиками.

1.6.2 Основний функціонал програми

Основним функціоналом програми – буде автоматичне корегування потужності нагрівання та зони нагрівання.

Для того щоб програма автоматично корегувала значення нагріву потрібно отримувати дані температури ззовні та з середини самого пристрою. Для цього в системному блоці та корпусі було встановлено датчики температури типу DS18B20 (рис.1.11). Таким чином отримуючи дані про навколишню температуру, температуру всередині пристрою та швидкість вітру ми можемо за допомогою програми контролювати потужність обігріву та де саме потрібно проводити обігрів.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		52

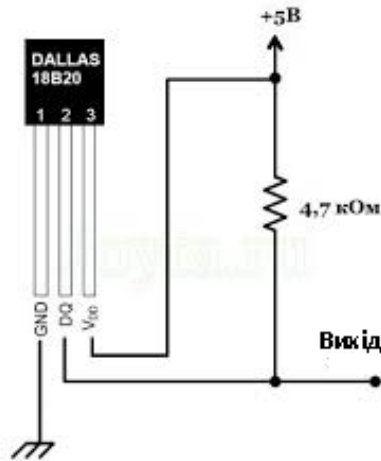


Рисунок 1.11 Датчик температури DS18B20

Це знизить затрати електроенергії та підвищить довговічність самого анемометру.

Анемометр буде обігріватися за допомогою гнучкого електрообігрівача. Для того щоб змінювати температуру обігріву потрібно лише змінювати напругу яку ми пропускаємо через електрообігрівач. На анемометрі присутні 5 зон з обігрівачами.

Відразу слід зауважити, що чашки повинні обігріватися завжди, адже формування на них льоду критично відгукується на точності вимірів. Основна задача програми – контроль та корегування температури в основних вузлах пристрою. Поділимо основну програму на підпрограми.

Підпрограма знімання інформації з датчиків температури (в системному блоці та в корпусі анемометру), назовемо її `ft_getTemp`.

Підпрограма для встановлення температури на певній зоні, назовемо її `ft_setTemp`. Підпрограма для імпульсного прогріву, з інтервалами, кріплення тримача і ступиці, назовемо її `ft_timingPuls`. Підпрограму для знімання інформації з тахогенератору, назовемо її `ft_getVelocity`. Підпрограму яка вмикає в залежності від швидкості вітру та навколишньої температури, назовемо її `ft_setTempFromVelocity`. Таким чином отримали 5 основних підпрограм.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		53



Рисунок 1.12 – Зони обігріву анемометра.

1 – всередині корпусу; 2 - кріплення тримача і ступиці; 3 – в середині тримача ; 4 – з зовні тримача ; 5 – всередині та зовні чашки.

Кожна з цих підпрограм виконує свою роль і викликається в залежності від основних факторів. Лістинг програми знаходиться в додатку А.

Висновок до першого розділу

Провівши критичний огляд аналогів можна з впевненістю сказати, що на даний момент існує велика кількість анемометрів з різними характеристиками, які дозволяють застосовувати ці анемометри в різних кліматичних та територіальних умовах. Зваживши всі можливі аспекти я все ж надаю перевагу чашковим анемометрам через свою універсальність та великий потенціал.

Проведена розробка анемометра з покращеним захистом показала, що ефективність та довговічність роботи анемометра залежить від багатьох факторів.

Велика кількість факторів які впливають на роботу чашкового анемометра можна помітити при розрахунку статичних характеристик. Параметр який має найбільший вплив - це відношення чашок R_c до радіусу обертання центру чашок $R_{гс}$, а саме залежність $R_r = R_c/R_{гс}$. Ще одним важливим елементом є площа чашок та момент інерції. Вони можуть чинити значний вплив на основні характеристики анемометра.

Провівши аналіз точності помітно, що у нових і невикористовуваних анемометрах існує перехідний період, в якому регулюється продуктивність чашки анемометра. На початку цього періоду показники збільшуються, тобто частота обертання збільшується до максимального піку, а потім продуктивність знижується при нормальному зносі. Також можна зазначити, що вплив кліматичних змін на характеристики анемометра можна виміряти. Проте, досить складно відокремити ефект зміни температури від впливу змін на щільність повітря, так як зміни температури впливають як на щільність повітря, так і на момент тертя.

З урахуванням використання гнучкого електрообігрівача та програмного забезпечення можна впевнено сказати про готовність системи до сурових випробувань. Так як за допомогою гнучкого електрообігрівача можна обігріти більше 80% всього приладу можна корегувати щільність самого обігрівача і

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		55

тим самим ще зменшити енерговитрати в залежності від потреб. Та навіть якщо не виготовлювати персоналізованих анемометрів, програмне забезпечення мінімалізує можливі витрати та неточності загального обігріву.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ “АНЕМОМЕТР З ПОКРАЩЕНИМ ЗАХИСТОМ ”

2.1. Опис ідеї проекту

Тема даної магістерської дисертації “Анемометр з покращеним захистом”.

На даний момент використання анемометрів розширює свій діапазон застосування, з таких секторів, як метеорологія або енергія вітру, в інші, де слід враховувати вплив вітру (рухомі мости в цивільному будівництві, великі крани і навіть на інших планетах.

Залишаючи осторонь важливість наявності найточніших інструментів (оскільки потужність вітру пропорційна $1/3$ потужності швидкості вітру), сектор вітроенергетики надзвичайно стурбований двома аспектами, які вимагають використання анемометрів: прогнозування виробництва енергії вітру в польових умовах і контроль продуктивності вітряних турбін. За останні десятиліття вітроенергетичний сектор був відкрито підтриманий урядами (Німеччина, Данія, Іспанія ...), стурбованими чистою енергією і зниженням залежності їх викопного палива. Крім того, в даний час дуже активні нові сильні гравці в цій галузі, такі як Китай, США, Бразилія чи Індія, з великими показниками з точки зору встановленої потужності вітру. У світлі цих фактів є розумним припустити, що згаданий масовий попит анемометрів з цього сектора продовжиться в найближчі роки, якщо не збільшиться.

Серед різних приладів, призначених для вимірювання швидкості вітру, чашковий анемометр в даний час як і раніше, залишається найбільш використовуваним пристроєм в секторі вітроенергетики, оскільки він недорогий в порівнянні з альтернативними пристроями (наприклад, звуковими анемометрами), він показує лінійний відгук у нормальний діапазон швидкості

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		57

вітру і здатний працювати при досить екстремальних погодних умовах.

Чашкові анемометри використовуються у галузі вітроенергетики для характеристики ділянок вітроелектростанцій та прогнозування місячного та річного виробництва енергії. Їх роль важлива, оскільки прогнозування швидкості вітру залежить від їх правильної роботи. На жаль, північний клімат значно впливає на працездатність анемометрів. Обмерзання, як правило, відбувається на великих висотах (понад 600 м). Похибка прогнозування швидкості вітру, спричинена льодом, що накопичується на анемометрі, може становити від 10% до 30% протягом зимових місяців. Це створює великі помилки в прогнозуванні вітру, що призводить до заниження вітрового потенціалу ділянки або спричинення перевантажень вітрових турбін, які залежать лише від даних, отриманих від анемометра. Щоб частково усунути цю складність, застосовують нагріті чашкові анемометри.

Покращення основних захисних характеристик – це нові горизонти в вітроенергетиці та дослідженнях не тільки нашої планети. А отже розробка та удосконалення анемометрів які здатні, досить точно, визначити швидкість вітру в будь-якій кліматичній зоні, буде актуальна і надалі.

1) Цілісне уявлення та базові потенційні ринки представлено у вигляді таблиці (табл. 2.1) , завдяки, якій можна визначити групи потенційних клієнтів [36].

Таблиця 2.1.Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрями застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Контроль різниць швидкості вітру в зонах з критичними показниками температури	Знаходження нових ефективних територій для вітроенергетики	Точна інформація про продуктивність ділянки
	Визначення зміни швидкості вітру на великих висотах	Контролювання параметрів зміни вітру без громіздких метеостанцій
	Можливість прогнозування лавин в гірській місцевості	Практичне застосування в зонах з великою кількістю снігів

Визначено ідею магістерської дисертації, її застосування та техніко-економічні характеристики. Дана ідея може мати широке призначення та виходу для багатьох користувачів.

2) Інформаційну карту проекту представлено у вигляді таблиці (табл. 2.2)

Таблиця 2.2. Інформаційна карта

1. Назва проекту	Анемометр з покращеним захистом
2. Автори проекту	Гусак Р.
3. Коротка анотація (не більше 1/3 сторінки)	<p><i>Об'єктом проектування є розробка анемометру з покращеним захистом.</i></p> <p><i>Мета проектування:</i> конструювання анемометру здатного до роботи в складних кліматичних умовах.</p> <p>Проект складається зі вступу, розділів «стартап-проект», «конструкторська частина», «графічна частина», висновків та рекомендацій, списку бібліографічних джерел та додаткових матеріалів (додатків).</p> <p>Результати розробки можуть бути впроваджені на торгових підприємствах.</p>
4. Термін реалізації проекту	< 2 місяців
	<i>Тривалість проекту (в місяцях)</i>
5. Необхідні ресурси	<p>Термо-вакуумний прес для формування корпусу та більшості зовнішніх елементів, готові стандартні вироби (типу тахогенератора, нагрівачів, гвинтів, болтів, шайб, гайок).</p> <p><i>Перелік усіх необхідних ресурсів (фінансових, матеріальних інтелектуальних та ін.)</i></p>
6. Опис проблеми, яку вирішує проект	Пристрій потрібен для визначення вітроефективних зон та моніторингу швидкостей вітру в зонах з екстремальними кліматичними умовами. Даний пристрій буде актуальним не тільки зараз, а й в недалекому майбутньому коли вільних вітроефективних зон не залишиться і доведеться знаходити нові в інших кліматичних умовах.
8. Головні цілі та завдання проекту	Проектування та реалізація пристрою для вимірювання швидкості вітру в зонах з екстремальними кліматичними умовами.
9. Очікувані результати	<p><i>(Описати позитивні зміни, які відбудуться в результаті реалізації проекту після його завершення та в довгостроковій перспективі)</i></p> <p>Спроектований пристрій для вимірювання швидкості вітру є перспективним проектом який розширю зону пошуку вітроефективних зон. Так як даний пристрій має не тільки гарний захист, а і гарні точнісні характеристики - його можна застосовувати на більшості відомих територій.</p>

- Для того, щоб проаналізувати техніко-економічні переваги даної ідеї необхідно визначити коло конкурентів або товарів-замінників, що вже існують на ринку, та проводиться збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів конкурентів відповідно до визначеного вище переліку. В результаті порівняльного аналізу проводиться визначення показників щомають а) гіршізначення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращізначення (S, сильні) (табл. 2.3).

Таблиця 2.3. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ n/n	Техніко- економічні характерист ики ідеї	Особливості	W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
1	2	3	4	5	6
1	Економічні	Низьковартісне обслуговування та ремонт			x
		Вартість витратних матеріалів			x
		Вартість експлуатації			x
2	Надійності	Строк безвідмовного функціонування			x
		Гарантійний термін			x
		Ремонтопридатність			x
3	Технологічні	Довготривалість виготовлення			x
		Оптимізація витрат			x
		Трудомісткість виготовлення		x	
4	Призначення (технічні)	Наявність датчиків контролю		x	
		Широкий діапазон використання			x

Продовження до таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6
		Мала похибка вимірювання		x	
5	Ергономічність	Відповідність виробу сприйняття інформації користувачем			x
		Зручність користування системою			x
6	Естетичні	Інформаційна виразність		x	
		Досконалість виробничого дослідження		x	
7	Транспортуальності	Трудомісткість підготовки одиниці продукції до перевезень			x

За допомогою таблиці визначено всі переваги, недоліки проекту та з'ясовано, що проект має дуже багато сильних сторін, а саме довгий гарантійний термін, швидке виготовлення і т.д.

2.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових, які подані у таблиці 2.4:

Таблиця 2.4. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Корпус з ABS пластику	За допомогою ABS пластику	наявна	доступно

Продовження до таблиці 2.4

<i>№ п/п</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
2	Модифікована ПО обігріву	Мова програмування С	наявна	доступно
3	Точковий обігрів чутливих елементів	Розподілені нагрівачі	наявна	доступно
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Розподілені нагрівачі				

Вибрана технологія найчастіше застосовується в приладах з великою кількістю чутливих елементів робота яких залежить від їх умов використання. Також використовується в умовах сурового клімату для покращення температурних властивостей приладу. Представляє собою систему розрізнених нагрівачів які за допомогою новітнього ПЗ проводять спрямований нагрів конкретних вузлів, що в свою чергу призводить до зменшення витрат на обігрівання та збільшення довговічності не тільки самого приладу в цілому, а й окремих його елементів. Сама технологія має безліч варіацій які залежать від потужності нагрівачів. В системі навіть можна використовувати різні типи нагрівачів, що збільшує діапазон можливих варіацій нагрівачів та робочих температур. Застосувати, запропоновану технологію можливо, для цього достатньо технічних засобів і матеріальних коштів.

2.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

1) Аналіз наявності попиту, обсягу та динаміки ринку (табл. 2.5)

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

дозволяє визначити ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити реалізації проекту. А отже і визначити які перешкоди слід очікувати та методи їх уникнення. Визначити загальний обсяг продаж та динаміку ринку. Знайти норму рентабельності на ринку.

Таблиця 2.5. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ n/n	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	265000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Наявність ліцензій та сертифікатів
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ГОСТ 6376-74 Анемометр чашковий
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	55%

З'ясовано, що характеристика даного стартап – проекту дозволяє легко ввійти на потенційний ринок за допомогою зростання динаміки ринку та незначних обмежень для входу. Головною ціллю є отримання певних ліцензій та сертифікатів.

2) Надалі визначено потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 2.6). В якій визначається цільова аудиторія, відмінності у поведінці різних цільових

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		63

груп клієнтів та вимоги споживачів до товару. А отже можна проглянути основні аспекти аудиторії.

Таблиця 2.6. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія(цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги спожива- чів до товару</i>
<i>1</i>	Знаходження нових вітроефективних територій	Сектор вітроенергетики	Незначна	- надійність; - точність; - ПЗ - зручність; - швидкість діагностики.
<i>2</i>	Якісний контроль існуючих вітроефективних територій			
<i>3</i>	Можливість досліджень зон з низькою температурою			
<i>4</i>	Чіткий контроль лавин та зсувів	Курортні зони		

Основною цільовою аудиторією відповідно до вимог та потреб, що формує ринок, було обрано Сектор вітроенергетики, та Курортні зони.

3) Складено таблиці факторів, що перешкоджають ринковому впровадженню проекту(табл. 2.7.) для аналізу ринкового середовища.

В таблиці 2.7 розглянуто виробництво, конкуренція та інші важливі аспекти.

Таблиця 2.7. Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Виробництво	ступінь зносу запчастин	Співпраця з заводами для закупки якісних запчастин оптом
2	Конкуренція	Вихід на ринок багато конкурентоспроможних компаній	Проінформувати клієнтів про високу якість нашої продукції за меншу ціну
3	Нова компанія	Нова компанія не викликає значної довіри	Зробити ставку на маркетинг, рекламу, співпрацю з значними науковими інститутами та отримання відгуків від них.

Основними факторами, що перешкоджають ринковому впровадженні проекту є: виробництво, конкуренція, нова компанія.

Також визначаються основні фактори, що сприяють ринковому впровадженні проекту (табл. 2.8).

Таблиця 2.8. Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Ціна	Низькі ціни приваблюють клієнтів	Не високі ціни на автоматизовану систему
2	Попит	Велика кількість замовлень	Збільшення потужностей
3	Інновації	удосконалення обладнання та метод контролю матеріалів	Висококваліфіковані працівники та іноземна наукова література для здійснення удосконалення обладнання.

4	Маркетинг	Залучення все більше нових клієнтів	Реклама у інтернеті, співпраця з різними інститутами та заводами для більшої популярності товару.
---	-----------	-------------------------------------	---

Основними факторами, що сприяють ринковому впровадженні проекту є: виробництво, попит, ціна, інновації та маркетинг.

4) Визначено загальні риси конкуренції на ринку (табл. 2.9).

Таблиця 2.9. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентно-спроможною)</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Тип конкуренції – <u>олігополія</u>	Олігополія характеризується невеликою кількістю фірм (від 2 до 10), обгороджених бар'єрами, які перешкоджають вступу в галузь нових фірм, мають контроль над цінами, але при змові з іншими олігополістами	Має не багато конкурентів, тому може контролювати ціни на ринку
2. За рівнем конкурентної боротьби – <u>локальний</u>	Може використовуватися, як на світовому на національному світовому ринку	Отримання сертифікації, відповідності не тільки держ. нормам і стандартам, а й міжнародним та технічної ліцензії
3. За галузевою ознакою – <u>міжгалузева</u>	Дослідження можна використовувати у різних галузях	Універсальність даної установки, є можливість покращити її

4. Конкуренція за видами товарів: <u>-між бажаннями</u>	Конкуренція між різними товарами	Так як система є універсальною, особливістю її є те що вона може застосовуватися у будь-якій галузі.
--	----------------------------------	--

Продовження до таблиці 2.9

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентно-спроможною)</i>
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	Нецінова. Проводиться головним чином за допомогою вдосконалення якості продукції, технології виробництва, інновацій та нанотехнологій, патентування Цінова. Для значної частки клієнтів ціна є визначальною при виборі.	Головною характеристикою є якість та ціна доступна для багатьох клієнтів
6. За інтенсивністю <u>-не марочна</u>	Роль торгової марки незначна, хоча самі марки можуть бути присутніми на ринку	Дана продукція не потребує марок, головними її пріоритетами є якість та технологічність

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку показав, що дана особливість конкурентного середовища має великі перспективи для конкурентної боротьби.

5) Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера) (табл. 2.10).

Таблиця 2.10. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
<i>Складові аналізу</i>	С.Е.М. everbest (Японія)	Young Company (США)	Campbell Scientific	Сектор вітроенергетики	ВАТ Меридіан

Продовження до таблиці 2.10

	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
	WINTACT (Китай)				
Висновки:	Конкуренти а боротьба є незначною так, як товари конкурентів суттєво відрізняються в ціні та вузькою сферою застосування.	можливість входу на ринок, але з невеликим масштабом и, дуже мала кількість потенційних конкурентів.	Співпраця з багатьма постачальниками для вибору кращих, дешевших, якісніших запчастин.	Клієнти диктують умови, які стосуються якості, удосконалення та універсальності.	При утворенні загроз з боку товарів-замінників може відбуватися збільшення конкуренції, яка призведе до втрати багатьох клієнтів.

Аналіз конкуренції показав всіх прямих та потенційних конкурентів, постачальників та клієнтів, виявлено, що конкуренція є незначною так як є

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		68

мало конкурентів, а попит на продукцію достатньо великий.

6) Використовуючи аналіз конкуренції, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 2.3), вимог споживачів до товару (табл.2.6) та факторів маркетингового середовища (табл. № 2.7-2.8) визначено та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за табл. 2.11.

Наведено значущі чинники, що роблять фактори для порівняння конкурентоспроможності значущим, тим самим обґрунтовано фактори конкурентоспроможності.

Таблиця 2.11.Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ n/n	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Чим менша ціна, тим більший попит.
2	Постійні витрати на виробництво	Витрати на запчастини та на складові компоненти, які дуже швидко зношуються.
3	Попит	Розвиток галузі та виробництва, визначає попит на продукцію.
4	Інновації	Для того, щоб удосконалити продукцію необхідна велика база даних, патентів та винаходів.
5	Сертифікація	Тривалий час для отримання сертифікатів та патентну.
6	Репутація виробника	Клієнтів привертає увага реклама, перед покупкою вони ознайомлюються з відгуками.
7	Рівень організації процесу виробництва на підприємстві	Чим краще організований виробничий процес, тим воно краще розвивається.
8	Конкуренти	Вихід на ринок нових конкурентів, може суттєво вплинути на попит продукції.

7) За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 2.10) проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 2.12).

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.12.Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ n/n	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з автоматизованою системою						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Ціна	20	x						
2	Попит	12				x			
3	Інновації	15			x				

Продовження до таблиці 2.12

№ n/n	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з автоматизованою системою						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
4	Сертифікація	14			x				
5	Постійні витрати на виробництво	9				x			
6	Репутація виробника	8						x	
7	Рівень організації процесу виробництва	14					x		
8	Конкуренти	6				x			

Найбільші бали у порівнянні з товарами-конкурентами здобули: ціна, інновації та сертифікація, слабкими факторами виявилися: конкуренти, постійні витрати на виробництво та репутація виробника.

8) Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 2.13.SWOT-аналіз стартап-проекту

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
• нижча ціна порівняно з конкурентами (265000 грн у найближчого конкурента 324700 грн)(ціна);	• нове підприємство викликає значні вагання зі сторони покупців
Можливості:	Загрози:
• ціна (зробити акцент на низьку ціну та якість продукції(удвічі меншу ніж у прямого конкурента)); • Інновації (удосконалення ПО та обладнання в цілому).	• Конкуренція (поява нових конкурентів на українському ринку); • Репутація виробника (початковий проект дуже важко правильно організувати).

За допомогою визначення можливих загроз та можливостей розроблено SWOT- за яким ми зможемо удосконалити та скорегувати свою стратегію конкурентної поведінки та стратегії розвитку проекту.

9) На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 2.14).

Таблиця 2.14 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ n/n	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Динамічна(Освоєння нових ринків, впровадження інновацій, розвиток потенціалу для реалізації стратегічних цілей розвитку)	Збільшення постачальників, удосконалення ресурсів, найм досвідченого персоналу	3 роки
2.	Нестійкий (Раціоналізація асортименту продукції, утримання частки ринку, лідерство в ніші)	Поступове удосконалення ресурсів	1.5 роки

3.	Стабільний(Утримання конкурентного положення, утримання ринкової ніші, зростання частки ринку з нарощенням виробництва, акумуляція прибутку)	Значна можливість при налаштуванні робочого процесу	9 місяців

Було обрано стабільну альтернативу ринкової поведінки. Вона є найбільш безпечною, так як вона має найменші строки реалізації при чому є можливість триматися конкурентної позиції та поступово прибавляти прибуток та нарощувати виробництво.

2.4. Ринкова стратегія проекту

1) Створення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 2.15).

Таблиця 2.15. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Підприємства	висока	високий	середня	просто
2	Дослідницькі центри	низька	середній	середня	просто

3	Курортні центри	середня	середній	середня	просто
Які цільові групи обрано: підприємства та курортні центри					

Як цільову групу споживачів обрано підприємства та курортні центри так, як у даних сегментах низька інтенсивність конкуренції. У даному сегменті існують великі перспективи розвитку та можливість удосконалення автоматизації системи.

2) Для роботи в обраних сегментах ринку сформовано базову стратегію розвитку (табл. 2.16).

Таблиця 2.16.Визначення базової стратегії розвитку

№ п/ п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія роз-витку*
1.	стабільна	Поступове збільшення виробництва, стабільне нарощування бази споживачів	Здатність до цінової війни та низькі витрати для виробництва продукту роблять його конкурентно спроможним в порівнянні з конкурентами.	Стратегія лідерства по витратам.

Обрано стабільну альтернативу розвитку тому, що вона забезпечує комфортне перебування фірми навіть під час сильного тиску конкурентів та цінової війни.

3) Обрано стратегію конкурентної поведінки (табл. 2.17).

За допомогою вірно обраної стратегії конкурентної поведінки можна

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		73

забезпечити стабільне майбутнє проекту.

Визначивши новизну, дізнаємось наскільки конкурентно спроможний даний проект.

Для початкового входження на ринок було обрано стратегію наслідування лідера, так, як це дозволяє зосередити свій бізнес на отриманні прибутку.

Таблиця 2.17.Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ n/n</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики ?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
1	Ні, але напрям тільки почав розвиватись	Так, звичайно.	Структура товару схожа але основні новації звичайно ж різні. Основні характеристики які будуть однакові: діапазон швидкостей, матеріал корпусу та чашечок.	Стратегія наслідування лідеру

4) На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку розроблено стратегію позиціонування (табл.2.17). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						74
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 2.18.Визначення стратегії позиціонування

<i>№ n/n</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап- проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
1	Довговічність конструктивних елементів	Позиціонування за співвідношенням "ціна – якість	Точність та надійність товару буде конкурувати з аналогічними закордонними товарами .	"європейська якість за українськими цінами", "точність та надійність“.

Було визначено стратегію позиціонування, вона буде орієнтована на низьку ціну продукту, порівняно з конкурентами, за аналогічною якістю.

2.5 Маркетингова програма стартап-проекту

1) Для того, щоб сформувати маркетингову концепцію товару, який отримає споживач. підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару (табл. 2.19).

Таблиця 2.19. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>

1	Точність вимірювань	Система є достатньо точною навіть при критичних умовах	Орієнтованість маркетингової стратегії на якість продукції
2	Температурні границі роботи	Можна використовувати у різних кліматичних зонах	Високоякісні елементи.

2)Визначення витрат на створення стартапу у табл. 2.20

№ з/п	Стаття витрат	Обсяги витрат в 0-й рік, тис. грн.
1	Розробка проектних матеріалів	2
2	Робоче проектування і прив'язка проекту	2
3	Витрати на придбання обладнання та устаткування та пристроїв	45
4	Витрати на приймально-здавальні випробування	20

Продовження до таблиці 2.20

№ з/п	Стаття витрат	Обсяги витрат в 0-й рік, тис. грн.
5	Витрати на придбання нематеріальних активів	3
6	Оплата юридичних послуг	2
7	Витрати на передвиробничі маркетингові дослідження і створення збутової мережі	40
8	Витрати, пов'язані з формуванням команди	15
Разом		129

3)Визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, наведено у табл. 2.21.

Таблиця 2.21. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
-------	--------------------------------	------------------------------	--	---

	300000	375000	Високий рівень доходів	300000-1250000 грн
--	--------	--------	------------------------	--------------------

Як ми бачимо даний стартап-проект виграє в ціні у конкурентів.

4) Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах яких приймаються рішення функції збуту, глибини каналу та оптимальну систему збуту. (табл. 2.22).

5) Розроблено концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 2.23).

Таблиця 2.22.Формування системи збуту

<i>№ n/n</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
	Ознайомлення клієнта з документацією та характеристиками.	-Швидке транспортування; - Інформування .	Сервіс для оптимізації збуту	Використовувати незалежні служби збуту.

Розроблено ринкову (маркетингову) програму, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		77

Таблиця 2.23. Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ п/ п</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комуніка цій, якими користу ються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціону вання</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
	Порівняння характеристик товару з основними конкурентами.	Сайти та центр комунікації	Позиціонування за співвідношенням “ціна-якість”	Висвітлити головні переваги товару перед конкурентами.	"європейська якість за українськими цінами", "точність та надійність"

Висновок до другого розділу

Було розроблено стартап-проект “Анемометр з покращеним захистом”. При створенні стартап-проекту було проведено безліч досліджень та аналізів які дозволяють виявити головні напрямки розвитку галузі, тенденції до переваг споживачів, як корегувати подальший розвиток.

Детально розкрито та опис головної ідеї стартап-проекту як вирішення проблеми, розкритої в актуальності даної магістерської дисертації. Визначено технологічний аудит ідеї проекту, проведено аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту, розроблено актуальну стратегію подальшого розвитку проекту на фоні відносин на сучасному ринку. Було розроблено маркетингову програму реалізації стартап-проекту.

Через те, що ціна продукту низька на відміну від іноземних конкурентів, які в основному виробляють аналогічні вироби, проект має значну конкурентоспроможну позицію. Було виявлено можливості та загрози ринку,

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		78

сильні та слабкі сторони підприємства, конкурентні позиції на національному та міжнародному ринку.

Обрано стабільну альтернативу ринкової поведінки. Вона є найбільш безпечною, так як вона має найменший термін реалізації при чому є можливість триматися конкурентної позиції та поступово прибавляти прибуток та нарощувати виробництво.

Даний проект має гарне підґрунтя та високу конкурентно спроможність за рахунок меншої собівартості. Також високі показники захищеності та точності роблять його більш вигідним придбанням.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Під час написання даної магістерської дисертації була проведена робота по пошуку та огляду аналогів, які мають особливі характеристики які можна порівняти в різних кліматичних умовах. Зрівнявши всі аналоги можна зробити конкретні висновки про основні аспекти технології вцілому.

Проведена розробка анемометра з покращеним захистом показала, що ефективність та довговічність роботи анемометра залежить від багатьох факторів.

Велика кількість факторів які впливають на роботу чашкового анемометра можна помітити при розрахунку статичних характеристик. Параметр який має найбільший вплив - це відношення чашок R_c до радіусу обертання центру чашок R_{rc} , а саме залежність $R_r = R_c/R_{rc}$. Ще одним

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						79
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

важливим елементом є площа чашок та момент інерції. Вони можуть чинити значний вплив на основні характеристики анемометра.

Аналіз точності який був проведений, показав, що у тільки виготовлених анемометрах існує перехідний період. І від цієї відправної точки показники збільшуються. Можна зазначити значний вплив температури та щільності повітря. Але також слід сказати про складність в відокремленні впливу саме температури чи щільності повітря.

Вплив ефекту обмерзання на чашки анемометру призводить до підвищення затрат на обігрів. Цю проблему було вирішено за допомогою гнучких електрообігрівачів. Сама технологія гнучких електрообігрівачів доволі проста та ергономічна, що дало змогу використовувати її в складно доступних зонах анемометру. Розроблене програмне забезпечення, одна із важливих складових ефективного обігріву всього анемометру.

Проведена розробка стартап-проекту довела конкуренто спроможність даного проекту, вказала на основні напрямки розвитку та схеми розвитку.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						80
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. [Електронний ресурс] - "[Hot-wire Anemometer explanation](#)". eFunda.
2. Полякова Л.С. “Метеорологія і кліматологія”/ Л.С. Полякова, Д.В. Кашарин // Новочеркаськ НГМА, 2004, 107с.
3. К. Нордлінг “Довідник з фізики для науковців та інженерів” // К. Нордлінг, Д. Остерман// Studentlitteratur AB, 2006, 504с.
4. Пат. 3825334 США, Лазерний доплерівський анемометр / Д. Итен (США) – Заявл. 29.06.1976; Опуб. 18.09.2006.
5. Дінес В. Х. Порівняння анемометрів // Квартальний журнал королівського метеорологічного товариства. – 2014. - №14.
6. Каймал Д., Бусінджер Д. Безперервний звуковий анемометр // Журнал прикладної метеорології. – 1963. - №2.
7. Коппін А., Тайлор К. Д. Трикомпонентна звукова система анемометра / термометра для загальних мікрометеорологічних досліджень // Boundary Layer Meteorology. -1983. -№27.
8. Харітонов В.П. Автономні вітроелектричні установки – ГНУ ВИЭСХ, 2006. 130 - 136 с.
9. ІЕС-61400-12-1 Документація. Вимірювання потужності електроенергії, що виробляє вітрогенератор. – Чинний від 2005.
10. MEASNET. Процедура калібрування анемометра. Чинний від 10.2009.
11. MEASNET. Процедура калібрування анамнезу чашки. Чинний від 09.1997.
12. Піндадо С., Санц А., Вері А. Відхилення результатів калібрування чашки анемометра і пропелера через щільність повітря // Енергія. – 2012. С. 683-701
13. ІЕС 61400-1 Документація. Вимоги до дизайну. – Чинний від 2005.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		81

14. ІЕС 61400-12-1 Документація. Вимірювання потужності електроенергії, що виробляють вітрогенератори. – Чинний від 2005.
15. Шубауер Г. Б., Мейсон М.А. Експлуатаційні характеристики лічильника в воді та повітрі. Національне бюро стандартів. 1937. – 360 с.
16. Pindado S, Pérez I, Aguado M. Fourier analysis of the aerodynamic behavior of cup anemometers. *Measurement Science and Technology*. 2013;24(6)065802
17. Anderson, D. N., "Effect of Velocity in Icing Scaling", Tests, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 29th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, Reno, Nevada, Paper AIAA-2000-0236, January 2000.
18. Anderson, D. N. and Tsao, J.-C., "Overview of Icing Physics Relevant to Scaling", American Institute of Aeronautics and Astronautics, 31th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, Reno, Nevada, Paper AIAA-2003-01-2130, January 2003
19. Jones K.F., "The Density of Natural Ice Accretions", Fourth International Conference on Atmospheric Icing of Structure, E. D. F., volume 77, #1, pp. 114-118, Paris, September 1988.

					МД ПІ8103.000.000 ПЗ	Арк.
						82
Змн..	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		